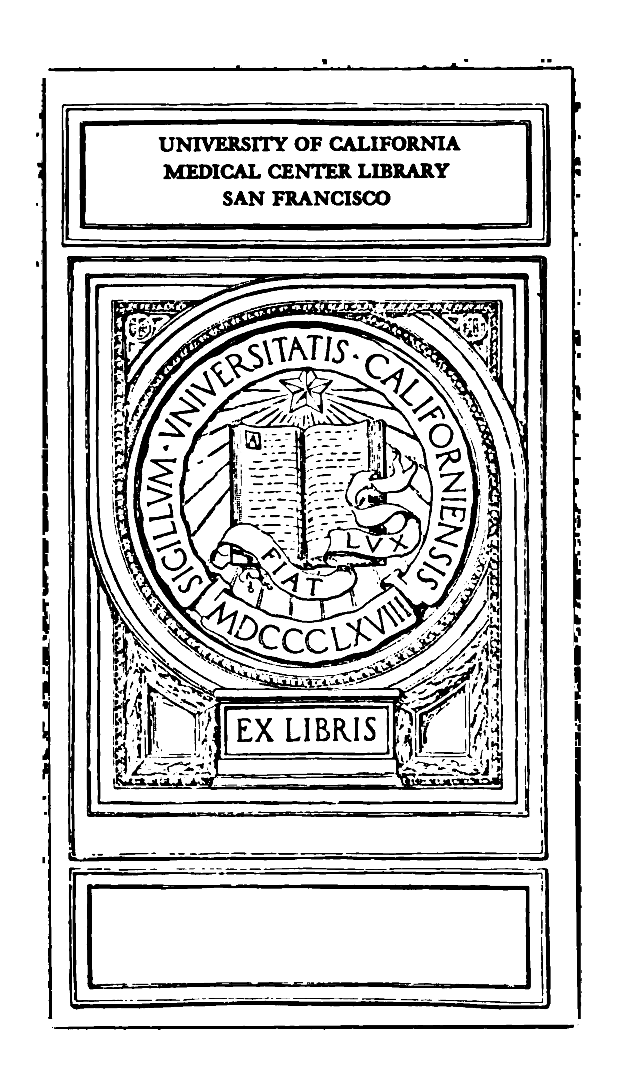
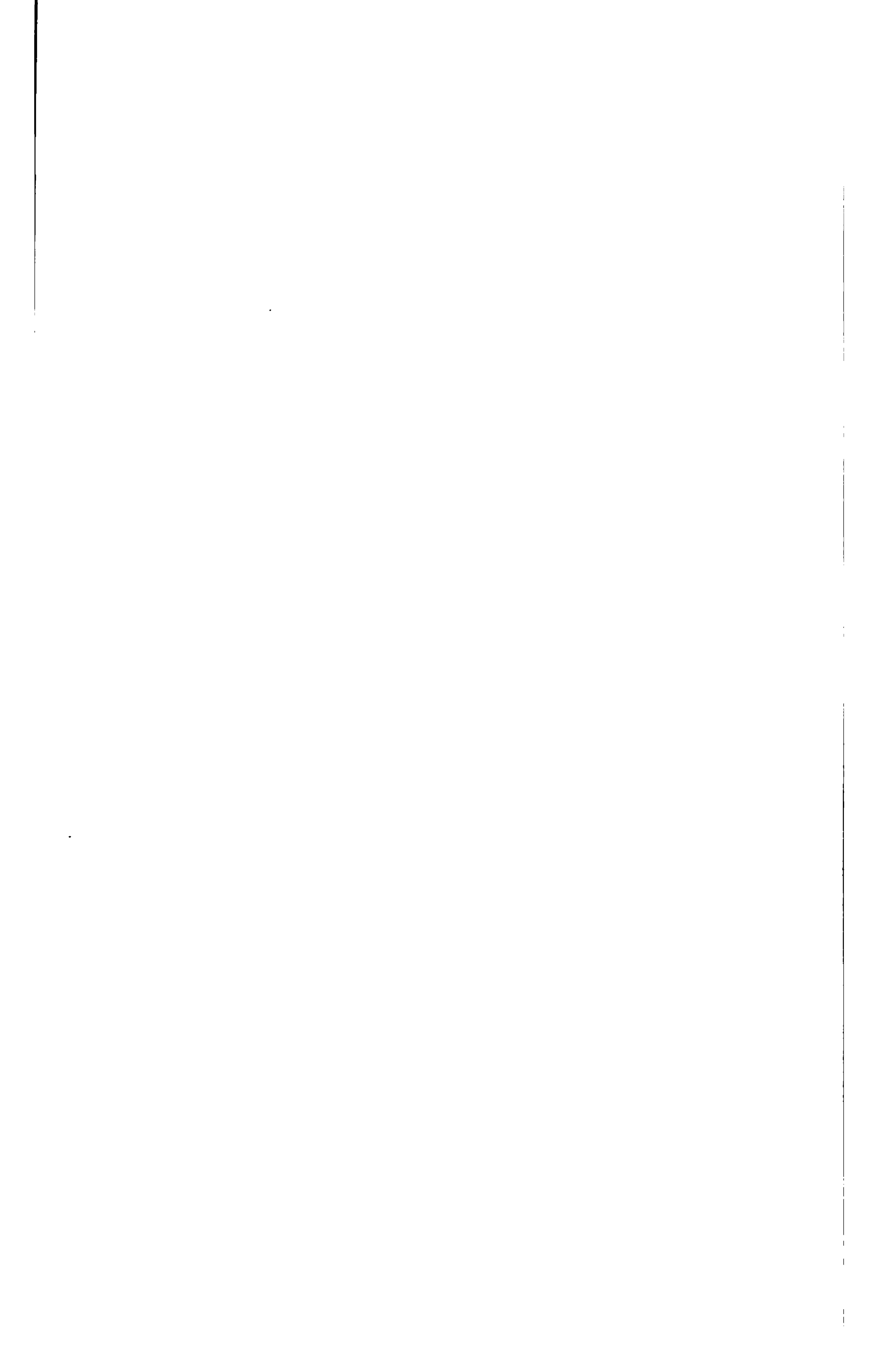
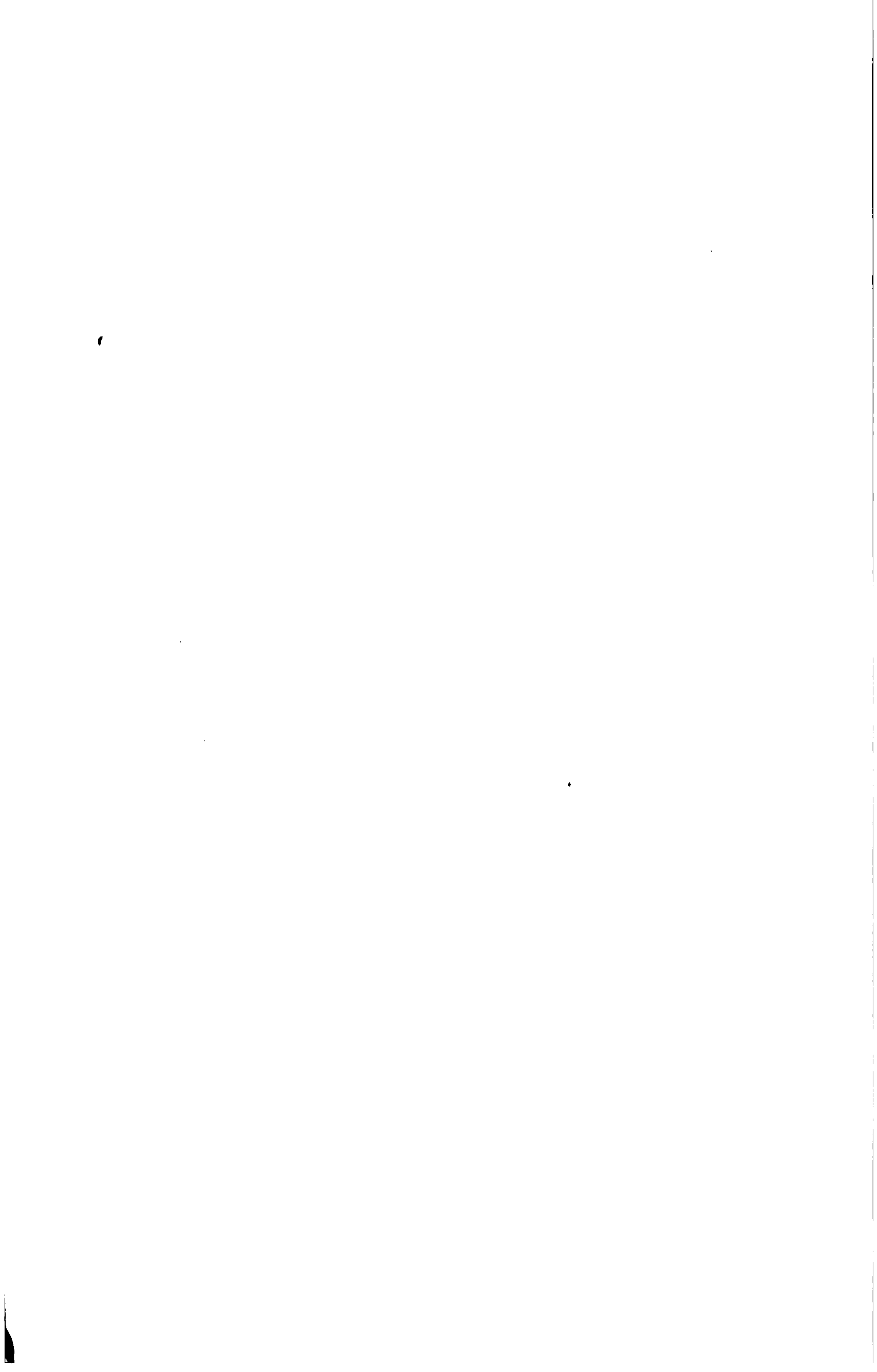

UNIVERSITY OF CALIFORNIA
MEDICAL CENTER LIBRARY
SAN FRANCISCO
SIGILLVM · VNIVERSITATIS · CALIFORNIENSIS
FIAT LVX
MDCCCLXVIII
EX LIBRIS







# ZEITSCHRIFT

FÜR

# BIOLOGIE

VON

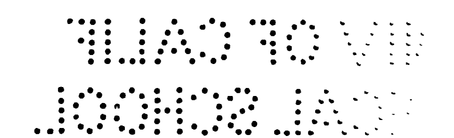
L. BUHL, M. v. PETTENKOFER, C. VOIT,

PROFESSOREN AN DER UNIVERSITÄT MÜNCHEN.

ELFTER BAND.

MÜNCHEN, 1875.

VERLAG VON R. OLDENBOURG.



# INHALT.



# Zur Physiologie der Wasserverdunstung von der Haut.

Von

**Dr. Friedrich Erismann.**

Die physiologischen Vorgänge bei der Wasserverdunstung durch die Haut sind bis jetzt wenig untersucht, und zwar hauptsächlich aus dem Grunde, weil man bis vor kurzer Zeit nicht die Mittel besass die Wasserabgabe von der Haut von derjenigen durch die Lungen zu trennen, ohne Faktoren einzuführen, welche ihrerseits die Richtigkeit der gewonnenen Resultate in Frage stellen mussten. Man begnügte sich desshalb auch noch in neuester Zeit mit einer annähernden Vorstellung über die absolute Grösse der insensiblen Wasserverdunstung durch die Haut, ohne dass man versucht hätte, die möglichen Schwankungen derselben unter dem Einflusse äusserer und innerer Bedingungen experimentell festzustellen. — Noch viel weniger konnte man etwas Bestimmtes aussagen über den eigentlichen Ort der Verdunstung und über die Organe, welche das zur Verdunstung gelangende Wasser liefern. Im Allgemeinen war man geneigt, die perspiratio insensibilis für einen rein physikalischen Vorgang zu halten d. h. für eine einfache Abdunstung des Wassers von der Hautoberfläche, identisch mit derjenigen, die an einer Wasseroberfläche stattfindet. Die Intensität der Perspiration hielt man für ausschliesslich abhängig von denjenigen äussern Umständen, welche auch die Verdunstung von einer freien Wasseroberfläche beeinflussen: grosse Trockenheit der äussern Luft, hohe Temperatur und stärkere Bewegung derselben wurden als die die Perspiration steigernden Momente angesehen. Man glaubte darnach die Momente, welche von Einfluss auf diesen Vorgang sind,

leicht erschliessen zu können, und hatte deshalb kein besonderes Interesse eine Lösung der Aufgabe anzustreben. — Nun hatte aber Professor Voit bei den vielen von ihm in Gemeinschaft mit Professor von Pettenkofer an Hunden und Menschen ausgeführten Versuchen vermittelst des grossen Respirationsapparates, wobei bekanntlich das durch Haut und Lungen ausgeschiedene Wasser direkt bestimmt wird, Beobachtungen gemacht, welche mit den soeben angeführten Anschauungen offenbar in Widerspruch standen und darauf hinzudeuten schienen, dass die Perspiration kein einfach physikalischer Akt, sondern ein Vorgang ist, dessen Intensität von dem Zustande des Organismus in hohem Maasse bestimmt wird, so zwar, dass die im Organismus selbst liegenden Bedingungen dabei viel maassgebender sind, als die äusseren Faktoren. Voit und Pettenkofer beobachteten nämlich am Hunde sehr bedeutende Schwankungen in der Wasserabgabe auch bei ganz gleichbleibenden äusseren Bedingungen, und zwar ergab sich aus der Rechnung, dass diese Schwankungen nicht nur die Wasserabgabe durch die Lungen betreffen mussten, sondern auch die Hautperspiration. Die Grösse der letzteren liess sich nämlich aus den durch den Versuch gegebenen Daten in folgender Weise annähernd berechnen: wenn man annahm, dass die ausgeathmete Luft einen Kohlensäuregehalt von 4% hatte, so konnte man, da die vom Thiere abgegebene Kohlensäuremenge bekannt war, das Volum der Respirationsluft erschliessen, und, da man auch den Wassergehalt der äusseren (Zimmer-) Luft kannte, so liess sich leicht berechnen, wieviel Wasser dieselbe bei 36° Cels. bis zur Sättigung noch aufnehmen konnte. Subtrahirte man nun dieses Wasserquantum von der Gesammtmenge des vom Thiere abgegebenen Wassers, so erhielt man annähernd die Grösse der Perspiration. Es zeigten sich hiebei, wenn das Thier ausschliesslich mit Fleisch gefüttert wurde, Schwankungen von 50 — 434 Grm. Wasser in 24 Stunden, und diese Schwankungen konnten nicht allein durch Veränderungen in den äusseren Bedingungen erklärt werden: zwar zeigten sich, bei gleich warmem Körper des Hundes und bei gleicher Ventilation, die Feuchtigkeit und die Temperaturhöhe der äusseren Luft von Einfluss, aber bei gleicher Temperatur ging öfters bei trockener Luft

in derselben Zeit weniger Wasser weg als bei feuchter Luft; ferner verdunstete bei Fütterung des Hundes mit 2000 Grm. Fleisch nochmals soviel Wasser als bei Fütterung mit 500 Grm. Fleisch bei gleicher Temperatur und Feuchtigkeit der umgebenden Luft; ebenso unter denselben äusseren Umständen nach gemischtem Fressen bei sehr vermehrter Harnausscheidung nochmal so viel als bei Fütterung mit 1500 Grm. Fleisch. — Diese Beobachtungen konnten nur so gedeutet werden, dass auch innere Zustände des Organismus von Einfluss auf die Perspiration seien und dass dieselben sogar einen grösseren Einfluss auf die Wasserverdunstung von der Haut auszuüben vermögen, als Feuchtigkeit und Temperatur der äusseren Luft.

Der Widerspruch der angeführten Beobachtungen mit der herrschenden Vorstellung von der Natur des Perspirationsprozesses gab die Veranlassung zu den vorliegenden Untersuchungen, die ich auf Anregung von Herrn Professor Voit in dessen Laboratorium unternahm. Für die freundliche Unterstützung, die Herr Professor Voit meiner Arbeit in jeder Beziehung zu Theil werden liess, spreche ich ihm hier meinen innigen Dank aus.

Die bisherige Anschauung von der rein physikalischen Natur des Perspirationsprozesses stützte sich hauptsächlich auf Beobachtungen Krause's über Wasserverdunstung von einzelnen Hautstücken und von ganzen Leichnamen. Desshalb will ich mit Erwähnung der Krause'schen Versuche einen kurzen historischen Ueberblick über die wichtigsten auf diesem Gebiete ausgeführten experimentellen Arbeiten beginnen.

Durch eine Reihe sehr sinnreich angestellter Versuche hat Krause[1]) dargethan, dass die Hornschicht der Epidermis für Flüssigkeiten im tropfbaren Zustande, so lange dieselben keine auflösende Einwirkung auf die Zellen oder deren Bindemittel ausüben, nicht durchgängig ist. Andrerseits hielt er sich auf Grund derselben Versuche für berechtigt anzunehmen, dass die Flüssigkeiten im gasförmigen Aggregatzustande und überhaupt alle leicht sich verflüchtigenden Stoffe die Epidermiszellen zu durchdringen im

1) Handwörterbuch der Physiologie, II. Band, Artikel „Haut“.

Stande sind. Diesen Satz benutzte Krause zur Erklärung der Vorgänge bei der sogenannten perspiratio insensibilis, und zu annährender Feststellung des Antheils, welchen die Epidermisdecke einerseits und die Haut- resp. Schweissdrüsen andrerseits dabei nehmen. Er suchte nämlich durch eine auf Experimente gestützte Berechnung, auf die wir später noch zurückkommen werden, nachzuweisen, dass auch der Minimalwerth der unmerklichen Hautausdünstung diejenige Wassermenge weit übertrifft, die von der Oberfläche der Schweissdrüsenmündungen bei 35⁰ Cels. und vollständig trockener Luft in der entsprechenden Zeit verdunsten kann. In Folge dessen gelangte er zu der Annahme, dass bei dem gewöhnlichen Stande der Hautausdünstung, ohne einen dem blossen oder schwach bewaffneten Auge sichtbaren Schweisserguss, die Wasserabgabe von der Haut grösstentheils auf Rechnung des auf der Oberfläche der Cutis gebildeten und durch das Gewebe der Epidermis selbst austretenden Wasserdampfes zu schreiben sei; die Verdunstung von der in den Ausführungsgängen der Schweissdrüsen befindlichen Flüssigkeitssäule soll nach Krause nur einen geringen Theil, — höchstens zwei Neuntheile, — der gesammten perspiratio insensibilis bilden.

Diejenigen Versuche Krause's, die sich auf den Durchgang von Flüssigkeiten durch die Epidermis beziehen, sind späterhin vielfach wiederholt worden, und es unterliegt in der That keinem Zweifel, dass tropfbare Flüssigkeiten indifferenter Natur weder von aussen noch von innen die Epidermis durchdringen können[1]), während gasförmige Substanzen die Haut von beiden Seiten her durchdringen. Offen bleibt dagegen immer noch die Frage, inwieweit die Hornschicht der Epidermiszellen selbst für Gase durchgängig ist und inwieweit die drüsigen Organe der Haut dabei betheiligt sind. Zur Entscheidung dieser Frage waren einerseits die Versuche, die Krause über Wasserverdunstung von der todten Haut anstellte, zu wenig zahlreich, und dabei die verschiedenen

1) In seiner Arbeit „Experimentell-kritische Untersuchung über die flüssige Hautaufsaugung" hat Röhrig die diesen Gegenstand betreffenden Arbeiten zusammengestellt und die im Text erwähnte Thatsache durch eigene Experimente bestätigt.

äussern Umstände, die auf die Verdunstung von Einfluss sein können, zu wenig berücksichtigt, — andrerseits standen ihm keine zuverlässigen, direkten Bestimmungen des innerhalb gewisser Zeiträume und unter gewissen äussern oder innern Bedingungen vom lebenden Körper verdunstenden Wassers zu Gebote. Es ist hier nicht nöthig, auf eine Beschreibung und Kritik aller von früheren Autoren angestellten Experimente über die perspiratio insensibilis einzugehen: Niemand zweifelt daran, dass die Bestimmungen von Sanctorius, Keill, Lining, Martins, Stark etc. nur noch von historischem Interesse sind, aber wissenschaftlich nicht verwerthet werden können. Alle diese Autoren beschäftigten sich nur damit — überhaupt eine Vorstellung von der Grösse der Abgabe gasförmiger Produkte durch Haut und Lungen zu bekommen; ausserdem bestimmten sie die abgegebene Gasmenge nicht auf direktem Wege, sondern indirekt aus dem durch die Waage gemessenen Gewichtsverlust, welchen der Körper in einer bestimmten Zeit erlitt, nach Berücksichtigung des Gewichtes der aufgenommenen Speisen und der sensiblen Ausleerungen.[1]) Auch die Experimente von Séguin[2]) und Valentin[3]) leiden an bedeutenden Fehlerquellen, die schon von Roehrig[4]) richtig gewürdigt worden sind. Séguin war bekanntlich der Erste, der Haut- und Lungenausscheidung getrennt zu bestimmen suchte. Die Anordnung seiner Experimente bestand darin, dass er mehrere Stunden in einem luft- und wasserdichten Taffetkleide zubrachte, das den ganzen Körper umschloss und nur die Mundöffnung für die Respiration frei liess, so dass durch eine Röhre die Produkte der Lungenathmung nach Aussen abgeleitet werden konnten. Das von der Haut während der Versuchszeit abgegebene Wasser blieb hiebei in dem Taffetkleide zurück und

1) Wer Näheres über die Anordnung dieser Experimente und ihre Resultate erfahren will, findet sie in dem Werke Weyrich's „Die unmerkliche Wasserverdunstung der menschlichen Haut" (Leipzig 1862) übersichtlich dargestellt.

2) Memoiren der Pariser Akademie, 1789 p. 567 u. 1790 p. 601 und Annales de Chimie, T. 90 p. 5.

3) Valentin's Physiologie, Band I, S. 714 und flgde.; auch im Repertorium für Anatomie und Physiologie, Band VIII, S. 389.

4) Deutsche Klinik, Jahrgang 1872, No. 23, 24 und 25.

konnte für sich durch die Waage bestimmt werden, während das Gesammtgewicht der Respirations- und Perspirationsprodukte durch Körperwägungen unmittelbar vor dem Anziehen und gleich nach dem Ausziehen des Kleides in Erfahrung gebracht wurde; durch Subtraktion des Gewichtes der Hautperspiration vom Gesammtgewichtsverlust erhielt dann Séguin das Gewicht der Respirationsprodukte. Die grösste Fehlerquelle bei dieser Versuchsanordnung liegt darin, dass die den Körper umgebende Luft sehr bald mit Wasserdampf gesättigt werden musste und dadurch ganz abnorme Bedingungen für die Wasserverdunstung von der Haut herbeigeführt wurden.

Die Versuche Valentin's leiden, obschon sie mit sehr genauer Berücksichtigung der Einnahmen des Körpers und der sensiblen Ausgaben angestellt wurden, an denselben Nachtheilen, die allen indirekten Bestimmungen der Respirations- und Perspirationsprodukte anhängen; ausserdem geben sie die Wasserabgabe durch Haut und Lungen nicht gesondert und berühren auch die Frage nach der Herkunft des perspirirten Wasserdampfes nicht. — Am genauesten ist die vom Körper in 24 Stunden durch Haut und Lungen in Gasform abgegebene Wassermenge durch Experimente von Voit und Pettenkofer[1]) bestimmt worden, da es diesen Autoren gestattet war, mit Hülfe des grossen Respirationsapparates das unter möglichst normalen Bedingungen abgegebene Wasser direkt aufzufangen und zu wägen. Da es jedoch damals nicht in der Absicht der Experimentatoren lag, die Wasserabgabe von der Haut für sich zu studiren, so ist in den von ihnen vorgenommenen Versuchen eine Trennung der Haut- und Lungenperspiration nicht durchgeführt, und die erstere kann also nur unter Annahme einer bestimmten Grösse der letzteren abgeschätzt werden. Es ist jedoch leicht einzusehen, dass der von Voit und Pettenkofer zu anderen Versuchen verwendete Apparat auch die Bestimmung der Wasserabgabe von der Haut für sich allein gestattet, wenn man nur die Produkte der Respiration nach Aussen ableitet.

---

1) Zeitschrift für Biologie, Band II.

Reinhard[1]) hat unter Voit's Leitung interessante Versuche über die Wasserabgabe von einzelnen Hautstellen gemacht, indem er die Menge des verdunstenden Wassers nach der in seiner Arbeit beschriebenen Methode direkt bestimmte. Wir wissen von ihm, dass die Quantitäten des von verschiedenen Partien der Haut perspirirten Wassers bedeutende Verschiedenheiten zeigen. Der Grund derselben liegt nach Reinhard darin, dass die verschiedenen, die Perspiration begünstigenden oder sie hemmenden Faktoren, — geringere oder grössere Dicke der Epidermisschicht, geringere oder grössere Festigkeit derselben, geringere oder grössere Menge von Schweissdrüsen und Haarbälgen, von Kapillaren und Arterienstämmen, — an den einzelnen Stellen der Haut in verschiedener Weise kombinirt, und dass diese Combinationen der Wasserverdunstung mehr oder weniger günstig sind. — Doch sind auch die Experimente Reinhard's noch nicht im Stande, uns ein Bild der die Hautperspiration bedingenden physiologischen Vorgänge zu geben, weil uns als wichtiges Material für die Erklärung dieser Hautfunktion noch der Einfluss der Modifikationen in den äusseren und inneren Bedingungen, und die Möglichkeit einer sichern Vergleichung mit der Wasserabgabe von der todten Haut fehlt.

Die ersterwähnte Lücke hatte schon Weyrich[2]) auszufüllen gesucht, aber die Resultate seiner Experimente sind für die Erklärung der Vorgänge bei der Hautperspiration nicht zu verwenden, weil sie keine absoluten, sondern nur relative Zahlen enthalten. Ausserdem sind sie, aus den schon von Röhrig angeführten Gründen, ungenau.

Röhrig selbst[3]) hat einige direkte Bestimmungen der unter verschiedenen Umständen vom lebenden Arm abgegebenen Wassermengen vermittelst einer nach dem Prinzip des Pettenkoferschen Respirationsapparates construirten Vorrichtung ausgeführt, und hat gefunden, dass die Wasserverdunstnng von der Haut unter verschiedenen äusseren oder im Körper selbst gelegenen Bedingungen

---

1) Zeitschrift für Biologie, Band V, S. 28 und folgende.
2) Loco cit.
3) Loco cit.

erheblich schwankt, und dass namentlich alle Einflüsse, welche eine Erweiterung der kleinen Hautarterien zur Folge haben, — hohe Temperatur, Hautreize etc., — die Wasserabgabe erheblich vermehren.

Aber auch diese Versuche Röhrig's werfen kein neues Licht auf die Physiologie der Hautperspiration, da sie die Möglichkeit der direkten Vergleichung der Vorgänge an der lebenden und todten Haut nicht einschliessen.

Bei diesem Stand der Sache schien es angezeigt, die Wasserabgabe von der todten Haut und vom lebenden Körper unter den verschiedensten Bedingungen und nach möglichst genauen Methoden einem eingehenden Studium zu unterwerfen. Wenn man hiebei sein Augenmerk auf die Unterschiede richtete, die sich in der Quantität des perspirirten Wassers beim lebenden Organismus und bei der todten Haut allenfalls ergeben sollten, so war zu hoffen, dass man der Erklärung des physiologischen Prozesses bei der Wasserverdunstung von der lebenden Haut näher kommen könne.

Meine Aufgabe zerfiel also in zwei natürliche Theile: 1) das Studium der Wasserverdunstung von der Oberfläche todter Hautstücke, deren innere Fläche mit Wasser beständig in Berührung war; daran sollten sich Beobachtungen über die Wasserverdunstung einzelner Körpertheile und von ganzen Leichnamen schliessen, — und 2) das Studium der Schwankungen in der Wasserverdunstung vom lebenden Körper unter den verschiedensten äusseren und inneren Bedingungen. — Zugleich nahm ich mir vor, auch den Einfluss der Kleidung auf die Perspiration in den Kreis meiner Beobachtungen zu ziehen.

## A. Versuche über Wasserverdunstung von der todten Haut.

Die Anordnung dieser Versuche war im Prinzip dieselbe, welche auch Krause getroffen hatte: eine hufeisenförmig gebogene, lange Trichterröhre, deren dünnes Ende das mit dem Trichter versehene Ende weit überragte, wurde mit Wasser bis zum Niveau der Trichteröffnung gefüllt, und dann das zu untersuchende Stück Haut über dem Trichter in der Weise festgebunden, dass die Epidermis nach Oben, das Korium aber der Wasserfläche zugewendet war. Luftblasen, die allenfalls zwischen Wasser und Haut zurückgeblieben, wurden vertrieben, so dass in allen Fällen die innige Berührung

des Koriums mit der Wasserfläche hergestellt war. Die angewandten Trichterröhren hatten alle an ihrem breiten Ende ungefähr die gleiche Weite; um jedoch die zum Versuch dienende Oberfläche der Haut in allen Fällen durchaus gleich gross zu machen, schnitt ich mir Ringe von ziemlich festem Papier aus, deren Durchmesser gerade 2 Centimeter, deren Quadratinhalt also 3.141 Quadratcentimeter betrug. Diese Ringe wurden auf die über die Trichterröhre festgebundene Haut gelegt, und nachher sowohl die freie Papieroberfläche, als auch die ganze Haut mit Ausnahme des innerhalb des Ringes befindlichen Stückes mit einer dicken Schicht von ausgekochtem Wachs bedeckt; das dünne Ende der Trichterröhre, dessen Oeffnung nicht mehr als 3 mm. im Durchmesser betrug, wurde mit besonders zubereiteten Korkstopfen verschlossen. Durch diese Anordnung war die Verdunstung von allen Theilen der Haut, mit Ausnahme des innerhalb des Ringes befindlichen Stückes, verhindert, und wenn nun die Trichterröhre mit Inhalt täglich gewogen wurde, so musste der Gewichtsverlust unmittelbar die Menge des von der Hautoberfläche verdunsteten Wassers angeben.[1]) Die Wägungen geschahen auf einer Waage, die bei der betreffenden Belastung noch eine Gewichtsdifferenz von 0.2 Milligramm deutlich erkennen liess.

Zur Bestimmung des durch den Korkverschluss des dünnen Endes der Röhre bedingten Fehlers verschloss ich an einer solchen mit Wasser gefüllten Röhre den Trichter mit einem Korkstopfen, dessen ganze Oberfläche durch Siegellack luftdicht abgeschlossen war, so dass eine Wasserverdunstung nur durch den Korkverschluss am dünnen Ende stattfinden konnte. Die Röhre wurde hierauf der gewöhnlichen Zimmertemperatur ausgesetzt und täglich gewogen. Ich erhielt folgendes Resultat:

1. Tag Gewichtsdifferenz + 0.0005 Grm.
2. " " " ± 0 "

1) Die Unterlassung des Ueberziehens der Peripherie des Hautstückes mit einer für Wasser undurchgängigen Schicht hatte eine Anzahl von Versuchen der Art, welche Herr Bowditsch im Voit'schen Laboratorium schon vor einigen Jahren angestellt hat, und aus denen die Unabhängigkeit der Wasserverdunstung der trockenen Haut vom Druck schon deutlich hervorging, mit einem störenden Fehler behaftet.

| | | |
|---|---|---|
| 3. Tag Gewichtsdifferenz | — 0.0005 | Grm. |
| 4. „ „ „ | — 0.0003 | „ |
| 5. „ „ „ | — 0.0007 | „ |
| 6. „ „ „ | ± 0 | „ |

Man sieht, dass der Fehler, der durch die Hygroskopizität des das dünne Ende der Trichterröhre verschliessenden Korks gesetzt war, keine Grösse erreicht, die in Berücksichtigung zu ziehen wäre.

Grösser war der durch den Wachsverschluss am Hautstücke selbst bedingte Fehler. Wurde nämlich die Stelle, an welcher sonst die Haut freilag, ebenfalls mit einer Wachsschicht bedeckt, so ergab sich von Tag zu Tag ein geringer Gewichtsverlust, der sich nur durch dem Auge nicht sichtbare Undichtigkeiten im Wachsverschluss erklären lässt. Die Gewichtsabnahme betrug in einer Versuchsreihe:

| | | | |
|---|---|---|---|
| Am 1. Tag . . . . . | 0.004 | Grm. | im Mittel 0.0035 Grm. in 24 Stunden. |
| „ 2. „ . . . . . . | 0.004 | „ | |
| „ 3. „ . . . . . . | 0.003 | „ | |
| „ 4. „ . . . . . . | 0.003 | „ | |

Da der Wachsüberzug bei allen Versuchen mit den Hautstücken etwa $^2/_3$ der in diesem Controlversuche vorhandenen Wachsoberfläche darbot, so betrug der in Anschlag zu bringende Fehler im Mittel in 24 Stunden etwa 0.0023 Grm., oder auf 1 Quadratcentimeter Haut 0.0007 Grm. Eine andere Versuchsreihe ergab dasselbe Resultat. — Der auf diese Weise entstehende Fehler ist nicht so klein, dass er vernachlässigt werden könnte, wenn man aus der Wasserverdunstung von der zum Versuche benutzten geringen Hautfläche auf die Verdunstung vom ganzen Körper schliessen wollte, aber bei Vergleichung der einzelnen Versuche an den Hautstücken unter sich kann man ihn wohl vernachlässigen, da er offenbar in allen Fällen so ziemlich constant blieb und überdiess nicht mehr als $^1/_5$ des Minimum der bei derselben Temperatur beobachteten Verdunstungsgrösse von den Hautstücken selbst beträgt.

Ich gehe nun zur Schilderung der Versuchsresultate über und will vorher nur noch bemerken, dass es hier nicht möglich ist, die Zahlen aller Versuchsreihen anzuführen; ich werde desshalb oft nur die Mittel aus mehrtägigen Versuchsreihen angeben. Zur Er-

leichterung der Uebersicht sind die Resultate immer auf 1 Quadrat-Centimeter Haut berechnet; wo es von Bedeutung ist, will ich jedoch auch die absoluten Zahlen beibringen.

### Versuch I.

Frische Haut von der Brust eines jugendlichen Individuums. Zwei Parallelversuche: in der einen Röhre Wasser, in der anderen Blutserum. Die Zahlen bedeuten die Gewichtsabnahme der Röhren in Grammen. Temperatur 5—9° C.

| | Absolute Zahlen. | | Auf 1 □ cm. | |
|---|---|---|---|---|
| Versuchstag. | Wasser. | Serum. | Wasser. | Serum. |
| 1. | 0.0169 | 0.0164 | 0.0054 | 0.0052 |
| 2. | 0.0150 | 0.0150 | 0.0048 | 0.0048 |
| 3. | 0.0126 | 0.0132 | 0.0040 | 0.0042 |
| 4. | 0.0090 | 0.0115 | 0.0029 | 0.0037 |
| 5. | 0.0121 | 0.0116 | 0.0038 | 0.0037 |
| 6. | 0.0114 | 0.0120 | 0.0036 | 0.0038 |
| | | | Mittel 0.0041 | 0.0042 |

Diese Reihe gibt erstens eine Vorstellung von der Verdunstungsgrösse bei der gegebenen Temperatur und Hautoberfläche überhaupt: wir sehen, dass man es dabei mit messbaren Grössen zu thun hat, deren Schwankungen wohl controlirt werden können; zweitens ergibt sich aus diesen Zahlen, dass es für die Grösse der Verdunstung gleichgiltig ist — ob das Korium mit destillirtem Wasser oder mit Blutserum in Berührung kommt.

### Versuch II.

Frische Haut von der Brust eines alten Individuums. Temperatur 2—7° C. Die Zahlen beziehen sich auf die Verdunstung von 1 □ Ctm.

| Versuchstag. | Wasser. | Serum. |
|---|---|---|
| 1. | 0.0035 | 0.0027 |
| 2. | 0.0036 | 0.0040 |
| 3. | 0.0046 | 0.0030 |
| 4. | 0.0027 | 0.0038 |
| 5. | 0.0032 | 0.0032 |
| 6. | 0.0030 | 0.0032 |
| Mittel | 0.0034 | 0.0033 |

Diese Versuchsreihe bestätigt die Resultate der vorigen; zugleich zeigt sich beim Vergleich dieser Tabelle mit der vorigen eine deutliche Abhängigkeit der Verdunstungsgrösse von der Temperatur der umgebenden Luft, — ein Umstand, auf den wir sofort noch weiter eingehen werden. Zuerst will ich noch zeigen, dass

bei übrigens gleichen Bedingungen die Verdunstungsgrösse an den aufeinanderfolgenden Tagen sehr annähernd dieselbe bleibt. Hiezu ist folgende Reihe geeignet.

**Versuch III.**

Haut von der Brust eines älteren Individuums. Temperatur 2—8° C.

| Versuchstag. | Verdunstung von 1 □Ctm. | Versuchstag. | Verdunstung von 1 □Ctm |
|---|---|---|---|
| 1. | 0.0045 | 9. | 0.0048 |
| 2. | 0.0043 | 10. | 0.0070 |
| 3. | 0.0064 | 11. | 0.0058 |
| 4. | 0.0068 | 12. | 0.0054 |
| 5. | 0.0076 | 13. | 0.0058 |
| 6. | 0.0064 | 14. | 0.0053 |
| 7. | 0.0076 | 15. | 0.0064 |
| 8. | 0.0073 | | |

Längeres Fortsetzen der Reihe schien unnöthig, da aus den vorliegenden Zahlen sehr deutlich zu sehen ist, dass keine Abnahme der Verdunstungsgrösse mit der Dauer des Versuches stattfindet. Die vorhandenen Schwankungen an den einzelnen Tagen lassen sich auf die Einwirkung von Differenzen der Temperatur und des Feuchtigkeitsgehaltes der umgebenden Luft zurückführen.

Der Einfluss der Temperatur auf die Wasserverdunstung von der todten Haut wurde in einer grossen Reihe von Versuchen studirt. Die folgende Reihe gibt die Mittel aus allen diesen Versuchen. Da dieselben im Winter vorgenommen wurden, so mussten diejenigen Experimente, welche eine Temperatur von 20° C. und darüber erforderten, im Brutofen vorgenommen werden, wo natürlich die grosse Trockenheit der Luft die Wasserverdunstung sehr begünstigte. Bei Zusammenstellung der Reihe wählte ich nur solche Versuche aus, bei denen die übrigen Umstände mit Ausnahme der Temperatur und des Feuchtigkeitsgehaltes der umgebenden Luft möglichst gleichartig waren. Die Haut stammte in allen hieher gehörigen Experimenten von der Brust oder der obern Bauchgegend.

**Versuch IV.**

| Temperatur nach C. | Verdunstung von 1 □Ctm. |
|---|---|
| 2—8° | 0.0037 Grm. |
| 9—17° | 0.0050 „ |
| 20—24° | 0.0173 „ |
| 24—28° | 0.0229 „ |
| 30—36° | 0.0353—0.0374 Grm. |

Der bedeutende Einfluss der Temperatur ist aus diesen Zahlen auf den ersten Blick sichtbar; zugleich aber überzeugt man sich, dass keine einfache Proportionalität zwischen Temperaturhöhe und Wasserverdunstung existirt, sondern dass die Verdunstung mit der Temperatur progressiv zunimmt: bei den niedrigen Temperaturen ist eine Steigerung von mehreren Graden ohne bedeutenden Einfluss, während bei höheren Temperaturen dieselbe Differenz ein viel erheblicheres Anwachsen der Verdunstung bewirkt. Es hängt diese Erscheinung wohl innig mit der geringen relativen Feuchtigkeit der Luft bei den angewandten höheren Temperaturen zusammen. Wir werden derselben Erscheinung auch am lebenden Körper wieder begegnen.

Es ist wichtig, dass man bei Parallelversuchen immer Haut von derselben Körperstelle und wo möglich auch von ein- und demselben Individuum nehme. Es zeigte sich nämlich, dass es Hautstellen gibt, deren Verdunstungsgrösse eine viel bedeutendere ist, als die oben für Brust und Oberbauch angegebene. So zum Beispiel die Haut der Fusssohle: ich besitze Parallelversuche über die Verdunstung von der Haut der Fusssohle und derjenigen anderer Körpertheile und will hier eine dieser Reihen anführen. Die Zahlen bedeuten die Verdunstungsgrösse in 24 Stunden.

### Versuch V.

| Haut von der Fusssohle, mit dicker Epidermis. | | | | Haut vom Bauch, leicht hydropisch, glänzend. | |
|---|---|---|---|---|---|
| Tage. | Temperatur. | Absolut. | Auf 1 □Ctm. | Absolut. | Auf 1 □Ctm. |
| 1. | 12—15° | 0.073 | 0.023 | 0.036 | 0.0114 |
| 2. | 8—9° | 0.025 | 0.008 | 0.021 | 0.0067 |
| 3. | 5—6° | 0.032 | 0.010 | 0.025 | 0.0079 |
| 4. | 13—15° | 0.071 | 0.022 | 0.045 | 0.0143 |
| 5. | 13—14° | 0.064 | 0.020 | 0.035 | 0.0111 |
| 6. | 13—14° | 0.064 | 0.020 | 0.035 | 0.0111 |
| 7. | 2—4° | 0.027 | 0.0086 | 0.0165 | 0.0052 |
| 8. | 6—7° | 0.032 | 0.010 | 0.020 | 0.0064 |
| 9. | 13—15° | 0.072 | 0.023 | 0.040 | 0.0127 |
| | | Mittel | 0.0161 | Mittel | 0.0096 |

Bei übrigens gleichen Umständen ist also die Wasserverdunstung von der mit dicker Epidermis versehenen Haut der Fusssohle beinahe noch einmal so stark, als von der Haut des Bauches,

und zwar wiederholt sich diese Erscheinung bei den verschiedensten Temperaturen der umgebenden Luft. Es liegt nahe die Erklärung hiefür in der grösseren Anzahl der Schweissdrüsen an der Fusssohle zu suchen: nach Krause finden sich an der Fusssohle in einem Quadratzoll Haut 2685 Schweissdrüsen, am Bauche dagegen nur 1136. Die Resultate dieses Parallelversuches sind für die Erklärung der physiologischen Vorgänge bei der Hautperspiration nicht unwichtig, denn wenn die Epidermis selbst dabei, nach der bisher üblichen Ansicht, die Hauptrolle spielen würde, so könnte man nicht verstehen, warum gerade von der Fusssohle mit ihrer dicken Epidermis mehr Wasser verdunsten sollte, als von der zarten Epidermis des Bauches, noch dazu bei leicht hydropischem Zustande der Haut, wie er in unserem Versuche gegeben war. Die dicke Schicht von Hornzellen an der Fusssohle kann doch die Wasserverdunstung nicht begünstigen, sondern muss nothwendigerweise einen hemmenden Einfluss ausüben, und es bleibt also als begünstigendes Moment nur die grössere Anzahl der Schweissdrüsen zurück. Ohne hier weiter auf diesen Punkt einzugehen, begnüge ich mich, die Aufmerksamkeit des Lesers auf die Resultate des obigen Versuches gelenkt zu haben; später wird die hier angeregte Frage ihre weitere Erörterung finden.

Es ist bekannt, dass eine vorübergehende Erhöhung des Blutdruckes durch Genuss grösserer Flüssigkeitsmengen die Hautausscheidung vom lebenden Organismus, wenigstens die des Schweisses, vermehrt. Um zu erfahren, ob eine Erhöhung des Druckes von Seite der Wassersäule auf die todten Hautstücke eine Vermehrung der Wasserverdunstung von der Oberfläche der letzteren zur Folge habe, goss ich durch das lange Ende Quecksilber in die Trichterröhre und beobachtete nun die Gewichtsabnahme bei verschiedener Höhe der den Ueberdruck bewirkenden Quecksilbersäule. Da jedoch unter dem Einflusse des positiven Druckes die Haut, je nach der Grösse desselben, mehr oder weniger gespannt wird, so war ich genöthigt, vorerst zu prüfen, ob nicht schon durch diesen Umstand, in Folge der Dehnung der Haut und des Zusammenpressens ihres Gewebes, eine Veränderung in der Wasserabgabe von ihrer Oberfläche bewirkt werde. Zur Entscheidung dieser Frage setzte

ich zwei Parallelversuche an, wobei in dem einen die Haut über der Trichterröhre beim Aufbinden straff angespannt, in dem andern dagegen so lose aufgebunden wurde, dass die Gewebstheile möglichst in ihrer natürlichen Lage blieben. Es zeigte sich hiebei durchaus keine Differenz in der Wasserverdunstung: die täglichen, von Temperatur und Feuchtigkeitsgehalt der umgebenden Luft abhängigen Schwankungen blieben bei beiden Röhren vollständig parallel, und das Mittel der Verdunstung aus dem 14 Tage lang fortgesetzten Versuche war in beiden Fällen gleich. — Ausserdem habe ich noch zu bemerken, dass bei einer gewissen Höhe des angewandten Druckes die Haut immer in einer grösseren oder geringeren Wölbung hervorgetrieben und dadurch die verdunstende Oberfläche etwas vergrössert wird. Dieser Umstand wurde bei der Vergleichung der Versuchsresultate und bei Berechnung der auf 1 Quadr.-Cm. kommenden Verdunstungsgrösse berücksichtigt. — Ich will jetzt einige von den über den Einfluss der Druckerhöhung unternommenen Versuchen anführen:

### Versuch VI.

Haut von der Brust eines jugendlichen Individuums.

| Tage. | | Temperatur. | Druck in Millim. Quecksilber. | Verdunstung auf 1 □Ctm. |
|---|---|---|---|---|
| 1. | (Mittel aus 3 Tagen). | 10—13° | 0 | 0.0032 |
| 2. | (Mittel aus 2 Tagen). | 7—8° | 0 | 0.0026 |
| 3. | — | 10—13° | 25 | 0.0029 |
| 4. | — | 10—13° | 20 | 0.0033 |
| 5. | — | 10—13° | 40 | 0.0035 |

Da die minimalen Schwankungen, welche die Verdunstung in dieser Reihe zeigt, durch die Schwankungen der Temperatur sehr leicht erklärt werden können, und da andererseits ein wirklicher Einfluss des erhöhten Druckes sich jedenfalls durch, den verschiedenen Druckhöhen entsprechende, Unterschiede in der Verdunstungsgrösse hätte geltend machen müssen, so kann man schon aus diesem Versuche schliessen, dass der Druck auf die Wasserverdunstung von der todten Haut ohne Einfluss ist. Dieser Schluss wird bestätigt durch folgende Versuchsreihen:

### Versuch VII.

Frische Haut von der Brust eines alten Phthisikers.

| Tage. | | Temperatur. | Druck in Millim. | Verdunstung auf 1 □Ctm. |
|---|---|---|---|---|
| 1—3 | (Mittel) | 10—13° | 0 | 0.0038 |
| 4—5 | „ | 7° | 0 | 0.0026 |
| 6—7 | „ | 10—13° | 20 | 0.0032 |
| 8 | — | 10—13° | 30 | 0.0032 |
| 9 | — | 10—13° | 30 | 0.0026 |

### Versuch VIII

Haut von der Fusssohle.

| Tage. | | Temperatur. | Druck in Millim. | Wasserverdunstung absolut. | auf 1 □Ctm. |
|---|---|---|---|---|---|
| 1—3 | (Mittel) | 2—7° | 0 | 0.030 | 0.0095 |
| 4—8 | „ | 10—14° | 0 | 0.059 | 0.0182 |
| 9—10 | „ | 2—7° | 20 | 0.024 | 0.0076 |
| 11—13 | „ | 10—14° | 20 | 0.061 | 0.0192 |
| 14 | „ | 10—12° | 60 | 0.046 | 0.0147 |
| 15 | „ | 8—9° | 75 | 0.032 | 0.0100 |

Auch in diesen beiden Reihen sprechen sich nur die Schwankungen der Temperatur in der Verdunstungsgrösse aus, während ein Einfluss des Druckes nicht zu bemerken ist. Wir können es also als bewiesen betrachten, dass die Wasserverdunstung von der Oberfläche der todten Haut von dem Druck unabhängig ist, der auf der mit dem Korium in Berührung stehenden Wasseroberfläche lastet. — Ich bemerke hier noch, dass ich bei diesen Versuchen mit höherem Drucke oft Gelegenheit hatte, die schon von Krause beobachtete Erscheinung zu sehen, dass bei einer gewissen Höhe des Druckes sich die Epidermis bläschenförmig erhob. Die Bläschen bildeten sich immer zuerst um die Haarwurzeln herum, so zwar, dass im Centrum des Bläschens das Haar steckte. Bei längerer Einwirkung des Druckes, oder bei rascher Steigerung desselben flossen nach und nach die kleinen Bläschen in einzelne, grössere, zusammen, bis schliesslich die ganze Epidermis im Bereiche des freien Hautstückes blasenförmig abgehoben und, je nach der Stärke des Druckes, straffer oder weniger straff über dem zwischen ihr und dem Korium befindlichen Wasser gespannt war. Hiebei zeigte sich eine Erhöhung des Druckes von unmittelbarem Einflusse auf

die Spannung der Epidermis, so dass also offenbar der Widerstand, den das Korium selbst dem Durchtreten des Wassers entgegensetzt, ein äusserst geringer ist. Dem entsprechend sah man auch nach Entfernung der Epidermisblase das Wasser mit grosser Raschheit in Form kleiner Tröpfchen durch das Korium heraustreten, so dass schon einige Sekunden nach sorgfältigem Abtrocknen der Koriumoberfläche dieselbe wieder mit einer vollständigen Wasserschicht bedeckt war. — Auf die Wasserverdunstung durch die Epidermis allein kommen wir weiter unten zu sprechen.

Nachdem ich den Einfluss der Temperatur in Verbindung mit grösserer Trockenheit der umgebenden Luft und den Einfluss des Druckes auf die Wasserverdunstung von der todten Haut studirt hatte, suchte ich noch die Wirkung der Luftbewegung zu eruiren. Die in dieser Richtung entscheidenden Resultate wurden nicht an einzelnen kleinen Hautstücken, sondern an Gliedmassen und am ganzen Leichnam gewonnen. Dennoch will ich auch die Beobachtungen an den einzelnen Hautstücken hier anführen, weil ihre Resultate wenig dem entsprechen, was man a priori erwarten sollte. — Die Anordnung der Versuche war folgende: die Mündung eines Bunsen'schen Gebläses wurde durch einen Kautschukschlauch mit einer Gasuhr, und die letztere ebenfalls durch einen Schlauch mit einer Glasröhre verbunden, deren freies Ende platt gedrückt war (6 Mm. breit und 1.5 Mm. hoch). Die Trichterröhre mit dem Hautstück befand sich zur Fernhaltung anderweitiger Luftströmungen in einem cylinderförmigen Blechgefäss von etwa 30 Cm. Durchmesser, und das platte Ende der erwähnten Glasröhre war so eingestellt, dass der Luftstrom sofort nach seinem Austreten aus der Röhre unmittelbar über der Oberfläche des Hautstückes sich verbreiten konnte. — Die folgende Versuchsreihe enthält zwei Parallelversuche, zu denen, behufs Herstellung möglichst gleicher übriger Verhältnisse, Haut von demselben Individuum und von ein und derselben Körperstelle genommen wurde.

### Versuch IX.

a. Ohne Ventilation.

| Tage. | Temperatur. | Verdunstung von 1 □cm. |
|---|---|---|
| 1. | 10—12⁰ | 0.0035 |
| 2. | 10—12⁰ | 0.0034 |

b. Mit Ventilation.

| Tage. | Temp. | Ventilationsgrösse in Litern. | Verdunstung von 1 □cm. |
|---|---|---|---|
| 1. | 10—12⁰ [1] | 1140 | 0.0044 |
| 2. | " | 2470 | 0.0035 |
| 3. | " | 2575 | 0.0035 |
| 4. | 7⁰ | 1936 | 0.0030 |
| 5. | 7⁰ | 5760 | 0.0024 |
| 6. | 10—12⁰ | 0 | 0.0027 |
| 7. | 10—12⁰ | 3010 | 0.0027 |

Wenn wir bei den mit Ventilation und bei einer Temperatur von 10—20⁰ angestellten Versuchen das Mittel nehmen, so erhalten wir als Verdunstungsgrösse für 1 □Cm. in 24 Stunden 0.00336 Gramm; die Versuche ohne Ventilation ergeben 0.00345 Gramm.

An den Resultaten dieser Versuche fällt zweierlei auf: erstens — dass die angewandte Ventilation überhaupt keine Vermehrung der Wasserverdunstung verursachte, und zweitens, — dass es ganz gleichgültig ist, ob man in 24 Stunden 1000 oder 6000 Liter Luft über das Hautstück wegstreichen lässt. — Diese Thatsachen widersprechen der alltäglichen Erfahrung, dass nicht nur anorganische Substanzen, sondern auch organische Gewebe, einem starken Luftstrome ausgesetzt, viel rascher trocknen als in ruhiger Luft. Es sind jedoch zwei Umstände zu berücksichtigen, welche dieses auffallende Resultat genügend erklären können. Einerseits muss die aus dem Gebläse austretende Luft, ihrer längeren Berührung mit dem Wasser wegen, sehr feucht sein, so dass sie jedenfalls nur noch wenig Wasserdampf aufnehmen kann, und andrerseits kann man sich denken, dass die in den Versuchen angewandte Luftgeschwindigkeit nicht gross genug war, um die Widerstände zu überwinden, die einer stärkeren Verdunstung von der todten Haut entgegenstunden. Dass diese letztere Annahme gegründet ist, beweisen die sogleich zu erwähnenden Versuche über den Einfluss

1) Die Temperatur der aus dem Gebläse austretenden Luft ist natürlich nicht direkt zu bestimmen. Ich nahm an, dass sie durchgängig die Temperatur des Zimmers hatte, da sie aus dem Versuchslokal selbst in das Gebläse aspirirt war und durch die Berührung mit dem Wasser kaum erheblich niedriger temperirt werden konnte.

der Ventilation auf die Wasserverdunstung von ganzen Gliedmaassen. — Von der Geschwindigkeit, mit welcher in den eben angeführten Versuchen die Luft über die Hautoberfläche hinwegstrich, können wir uns eine ungefähre Vorstellung machen, wenn wir annehmen, dass nach seinem Austritt aus der Glasröhre der Luftstrom über der Haut eine Breite von 2 Cm. und eine Höhe von 0.5 Ctm. einnahm, also gleichsam einen Querschnitt von 1 □Ctm. passirte. Unter dieser Annahme war die Geschwindigkeit am ersten Versuchstage (1140 Liter) = 13 Ctm. in der Sekunde und am fünften Tage (5760 Liter) = 67 Ctm. in der Sekunde. Im ersten Falle fiel also die Geschwindigkeit der Luft noch ins Bereich dessen, was wir Windstille nennen, im zweiten Falle war es nur ein ganz leiser Windstoss, und in der That auch als solcher fühlbar. — Nach diesen Auseinandersetzungen wird man es nicht mehr räthselhaft finden, dass eine so schwache Bewegung einer noch dazu sehr feuchten Luft die Verdunstung von der Haut nicht merklich steigern konnte.

Ein geringer Einfluss der Luftbewegung (Geschwindigkeit = 13.7 Ctm. in der Sekunde) liess sich wahrnehmen, wenn die Luft, bevor sie über die Haut strich, durch concentrirte Schwefelsäure gegangen und somit ihres Wassergehaltes beraubt war (Versuch X). Zu diesem Versuche diente dasselbe Stück Haut, wie zu dem Versuche IXb; die Wasserverdunstung betrug im Mittel aus zwei unter sich gut übereinstimmenden Versuchen 0.0038 Gramm, während das Mittel aus den obigen Versuchen mit ungetrockneter Luft nur 0.0032 Gramm auf den □Ctm. in 24 Stunden beträgt. Ein ähnliches Resultat ergab dasselbe Experiment mit dem in Versuch IXa angewandten Hautstücke: die Wasserverdunstung betrug bei 12—15°C. in 24 Stunden vom Quadratcentim. 0.0043 Gramm, wenn die Luft ruhig war; bei bewegter, trockener Luft dagegen (Geschwindigkeit = 14 Ctm. in der Sekunde) verdunsteten bei derselben Temperatur im Mittel aus zwei Versuchen von demselben Hautstücke 0.0054 Gramm.

Jedenfalls geht aus diesen Beobachtungen hervor, dass eine Luftbewegung, wie sie in unsern Versuchen zur Anwendung kam (Geschwindigkeit = 13—67 Ctm. in der Sekunde), auf die Wasser-

verdunstung von der todten Haut von gar keinem oder nur äusserst unbedeutendem Einflusse ist. Die Bedeutung dieser Erscheinung für das physiologische Verständniss der unmerklichen Hautausdünstung wird klar werden, wenn wir dazu kommen, zu zeigen, dass die lebende Haut auf hundertmal geringere Luftströmungen schon reagirt, d. h. dass durch dieselben die Wasserabgabe von der lebenden Haut modifizirt wird.

Bevor ich zur Schilderung der an ganzen Körpertheilen und an Leichnamen gewonnenen Resultate übergehe, will ich noch die Beobachtungen erwähnen, die ich über Wasserverdunstung durch die blose Epidermis hindurch gemacht habe. Es wurde zu diesem Zwecke die Haut in der früher beschriebenen Weise über die Trichterröhre gespannt und sodann die Epidermis durch Quecksilberdruck zur blasenförmigen Abhebung gebracht.

### Versuch XI.

| Tage. | Temperatur. | Verdunstung auf 1 □Ctm. | |
|---|---|---|---|
| 1. | 5—7° | 0.0021 | im Mittel 0.0025 Gramm. |
| 2. | „ | 0.0033 | |
| 3. | „ | 0.0022 | |
| 4. | 10—13° | 0.0056 | im Mittel 0.0041 Gramm. |
| 5. | „ | 0.0035 | |
| 6. | „ | 0.0040 | |
| 7. | „ | 0.0044 | |
| 8. | „ | 0.0033 | |
| 9. | „ | 0.0036 | |
| 10. | „ | 0.0043 | |

Man sieht aus diesem Versuche, dass auch durch die blose Epidermis hindurch eine Wasserverdunstung stattfindet, deren Grösse von der Temperatur der umgebenden Luft abhängig ist, und eine Vergleichung des Versuches XI mit Versuch I und II ergibt, dass die Verdunstung durch die blose Epidermis hindurch sich in Beziehung auf ihre Quantität nicht wesentlich unterscheidet von der Grösse der bei normalem Zusammenhang zwischen Korium und Epidermis von der Oberfläche der letzteren stattfindenden Verdunstung. Dieses Faktum wird noch deutlicher werden, wenn ich in einer besonderen Reihe die Verdunstungsgrössen von der ganzen Haut und von der Epidermis allein bei verschiedenen Temperaturen übersichtlich zusammenstelle.

### Versuch. XII.

| Verdunstung von der ganzen Haut. | | Verdunstung von der Epidermis allein. | |
|---|---|---|---|
| Temp. | Verdunstung auf 1 □Ctm. | Temp. | Verdunstung auf 1 □Ctm. |
| 2—5° | 0.0037 | 5—7° | 0.0025 |
| 9—17° | 0.0050 | 9—14° | 0.0046 |
| 20—24° | 0.0173 | 22—24° | 0.0169 |
| 24—28° | 0.0229 | 24—28° | 0.0232 |

Der in dieser Reihe deutlich hervortretende Parallelismus der an der ganzen Haut und an der Epidermis allein erhaltenen Resultate hat durchaus nichts Auffallendes, da wir ja schon wissen, dass das Korium selbst dem Wasser nur einen äusserst geringen Widerstand entgegensetzt; die Verdunstungsgrösse von der Oberfläche der Epidermis muss sich also ziemlich gleich bleiben — ob sich nun unter der Epidermis das von Wasser durchtränkte Korium oder eine freie Wasseroberfläche befindet. — Die Resultate dieser Versuche sind nicht unmittelbar mit denen zu vergleichen, die Krause an abgezogener Epidermis erhielt, weil seine Beobachtungen meist in einer durch Schwefelsäure oder Chlorcalcium getrockneten Luft gemacht wurden; hiebei erhielt er eine Verdunstungsgrösse von 0.025 — 0.061 Gramm von 1 □Ctm. in 24 Stunden, wenn die Temperatur der umgebenden Luft 12.5° Cels. betrug. Bei einer Beobachtung in „ziemlich feuchter" Zimmerluft erhielt Krause 0.023 Gramm, — ein Resultat, das die von uns in wiederholten Versuchen erhaltene Verdunstungsgrösse um das Fünffache übertrifft.

Ich gehe nun über zur Schilderung der Versuche an einzelnen Körpertheilen und am ganzen Leichnam. Der ursprüngliche Zweck der mit den einzelnen Körpertheilen angestellten Versuche war der — zu erfahren, ob vielleicht eine Erhöhung des Druckes im Gefässsysteme am todten Gliede die Verdunstung von der Oberfläche der Haut beschleunige oder nicht, weil bei den Versuchen mit den kleinen Hautstücken der auf der inneren Hautfläche lastende Quecksilberdruck in dieser Hinsicht keinen Erfolg gehabt hatte. Herr Professor Kollmann hatte die Güte, mir zwei ganze Arme von demselben Individuum für diesen Versuch vorzubereiten: nachdem die Arme von der Schulter getrennt und die Gefässe sorgfältig unterbunden waren, wurden in das Gefässsystem des einen Armes 75 Kubikcmtr. Blut injicirt und so-

dann das obere Drittheil des Oberarmes beider Arme mit Wachsleinwand und Kautschuk derart umwickelt, dass eine Wasserabgabe von der Wundfläche möglichst verhindert war. Diese beiden Arme wurden nun nacheinander verschiedenen äusseren Bedingungen ausgesetzt: ich wollte wissen, ob der vermehrte Druck im Gefässsysteme des einen Armes eine grössere Verdunstung von der Hautoberfläche bewirke, und ob der Einfluss der äussern Bedingungen sich in gleicher Weise auf die Arme geltend mache, wie auf die in den bisherigen Versuchen angewandten kleinen Hautstücke. Da sich der Einfluss des vermehrten Druckes im Gefässsysteme, wenn er überhaupt vorhanden war, am stärksten in der ersten Zeit nach der Injektion geltend machen musste, so wurden drei Stunden lang die beiden Arme alle halbe Stunden gewogen auf einer Tellerwaage, die bei der betreffenden Belastung eine Gewichtsdifferenz von 0.1 Grm. noch durch deutlichen Ausschlag anzeigt. Folgendes sind die Resultate dieser halbstündigen Wägungen (I bedeutet den nicht injicirten, II den injicirten Arm):

**Versuch XIII.**

| Zeit. | Temperatur. | I. Verdunstung in Grammen. | II. Verdunstung in Grammen. |
|---|---|---|---|
| 4 Uhr 45 Min. | 22.15° | 0.7 | 0.7 |
| 5 „ 15 „ | 22.00° | 0.3 | 0.1 |
| 5 „ 45 „ | 21.80° | 0.3 | 0.2 |
| 6 „ 15 „ | 21.60° | 0.5 | 0.5 |
| 6 „ 45 „ | 21.40° | 0.4 | 0.3 |
| 7 „ 15 „ | 21.35° | 0.1 | 0.1 |
| 7 „ 45 „ | 20.95° | 0.0 | 0.0 |
| | | Summe 2.3 Gramme | 1.9 Gramme. |

Man sieht, dass das Experiment nicht zu Gunsten des injicirten Armes ausfiel; jedenfalls also hat in diesem Falle der vermehrte Druck innerhalb des Gefässsystems des todten Armes keine vermehrte Verdunstung von der Hautoberfläche bewirkt.

Nachdem die beiden Arme von 8 Uhr Abends bis 8 Uhr Morgens im Keller bei 13.85° C. gelegen hatten, ergab sich eine Gewichtsabnahme bei I von 0.3 Grm.
„ II „ 0.2 „

Nach zweistündigem Aufenthalt im Laboratorium bei 21.30° C. ergab sich eine Gewichtsabnahme

bei I von 1.0 Grm.
„ II „ 0.9 „

Hiedurch werden die Resultate der ersten Beobachtung bestätigt.

Um den Einfluss der Ventilation auf die Arme zu prüfen, wurden dieselben in den Kasten des kleinen, von Herrn Professor Voit nach dem Princip des grossen Pettenkofer'schen Apparates gebauten Respirationsapparates gebracht und nun in zwei, jedesmal 2 Stunden dauernden Versuchen verschiedene Luftmengen darüber hinweg geleitet. Die Resultate waren folgende:

| Temperatur. | Wasserabgabe in Grammen | | Ventilationsgrösse in 2 Stunden. |
|---|---|---|---|
| | I | II | |
| 19.80° | 0.9 | 0.8 | 1618 Liter |
| 20.60° | 0.6 | 0.8 | 5873 „ |

Vergleicht man die Resultate dieser Versuche mit denjenigen des unmittelbar vorhergehenden, ebenfalls 2 Stunden dauernden, so ergibt sich durchaus keine Differenz zu Gunsten der Versuche mit Ventilation. Ausserdem bemerkt man, dass auch der Grad der Ventilation, wenigstens innerhalb der angewandten Ventilationsgrössen, durchaus ohne Einfluss auf die Grösse der Wasserverdunstung von der Haut des todten Armes ist. — Um ein Bild von der angewandten Ventilationsgrösse zu geben, berechne ich hier die Geschwindigkeit, mit welcher in den beiden Versuchen die durch den Kasten aspirirte Luft über die Arme wegstrich. Der Kasten bildet einen Kubus, dessen Seite 40 Ctr. misst, der Querschnitt desselben ist also = 1600 □ Ctm. Wenn in 2 Stunden 1618 Liter durch diesen Querschnitt gehen, so berechnet sich die Luftgeschwindigkeit in der Sekunde auf 0.14 Ctm. Für den zweiten Versuch, wo die Ventilationsgrösse in 2 Stunden 5873 Liter betrug, berechnet sich die Luftgeschwindigkeit auf 0.51 Ctm. in der Sekunde. — Jetzt erscheint es auch nicht mehr so wunderbar, dass diese Ventilation die Wasserabgabe vom todten Arme nicht begünstigte, denn weiter oben überzeugten wir uns ja, dass eine viel

bedeutendere Luftgeschwindigkeit noch von keinem Einflusse auf die Verdunstung von der todten Haut ist. Ausserdem werden wir gleich sehen, dass eine so geringe Ventilationsgrösse auch nicht hinreicht, die Wasserabgabe von einer freien Wasseroberfläche zu begünstigen.

Ich will nur noch erwähnen, dass sich auch an den Armen eine mit der Höhe der Temperatur der Aussenluft und mit der Trockenheit derselben wachsende Verdunstung nachweissen liess. Wenn ich nämlich die beiden Arme in einen Trockenschrank brachte, wo sie 2 Stunden lang einer Temperatur von 37.5$^0$ ausgesetzt waren, bei einer relativen Feuchtigkeit der Luft von 20—25$^0/_0$, so ergab sich eine Gewichtsabnahme

bei I von 2.4 Grm.
„ II „ 2.7 „

Die Wasserabgabe unter diesen Bedingungen beträgt also das 2—3fache von derjenigen bei 21$^0$ C. und einer relativen Feuchtigkeit von 50—55$^0/_0$; dieses Resultat stimmt überein mit dem an kleineren Hautstücken unter denselben Bedingungen gewonnenen (siehe Versuch IV).

Der leichteren Uebersicht halber will ich an dieser Stelle auch noch die am ganzen Leichnam angestellten Versuche anführen, obschon die Bedeutung derselben und die Absicht, in der sie unternommen wurden, erst später genauer auseinander gesetzt werden kann. Hier will ich nur erwähnen, dass es sich darum handelte, zu wissen, wie viel Wasser unter bekannten äusseren Umständen in 24 Stunden von einer ganzen Leiche durch die äussere Haut verdunstet, und welchen Einfluss die Ventilation auf die Grösse der Verdunstung ausübt. — Durch die Güte des Herrn Professor Rüdinger erhielt ich den frischen Leichnam einer jugendlichen Puerpera. Die äusseren Oeffnungen aller Körperhöhlen (Nasenlöcher, Mund, Genitalien, Afteröffnung) wurden mit Wachs luftdicht verschlossen und sodann die Leiche auf einer guten Dezimalwaage gewogen. Nachdem sie hierauf 24 Stunden ruhig gelegen hatte, wurde ein Gewichtsverlust von 40 Grm. constatirt, — es waren also in 24 Stunden von der Oberfläche der Haut 40 Grm. Wasser verdunstet. Die Temperatur des Versuchsraumes während dieser Zeit betrug im Mittel aus 7 Beobachtungen 17.54$^0$ (Maximum = 17.80, Minimum = 16.83$^0$);

die relative Feuchtigkeit betrug im Mittel 64% (Maximum = 68%, Minimum = 61%).

Das Resultat dieses Versuches erlaubt keine unmittelbare Vergleichung mit den von Krause angegebenen Zahlen für die Verdunstung von der ganzen Leiche, da die Versuche Krause's unter abnormen Verhältnissen (in künstlich getrockneter Luft) angestellt waren. Krause fand folgende Grössen (seine Angaben in Quadratzoll und Gran sind auf Quadrat-Centimeter und Gramme umgerechnet) für die Verdunstung vom ganzen Leichnam bei 12.5° C. in 24 Stunden:

1) in durch Schwefelsäure getrockneter Luft . . 123 Grm.
2) „ „ „ „ „ . . 122 „
3) „ „ Chlorcalcium „ „ . . 59 „

Der dritte Versuch, in welchem die Luft offenbar weniger ausgetrocknet war, als in den ersten beiden, liegt dem von uns erhaltenen Resultate am nächsten.

Zur Bestimmung des Einflusses der Ventilation auf die Wasserverdunstung von der ganzen Leiche stellten mir die Herren Professoren Pettenkofer und Voit in bereitwilligster Weise den grossen Respirationsapparat zur Verfügung. Die Leiche wurde sofort nach der Wägung in den Kasten des Apparates gebracht und der letztere 24 Stunden hindurch anhaltend ventilirt. Die Temperatur des Raumes betrug im Mittel 17.95° C., die relative Feuchtigkeit der Luft war im Mittel 67%. — Als nach 24 Stunden der Versuch unterbrochen wurde, bemerkte man, dass bei der etwas ungünstigen Lage, welche der Leiche im Kasten hatte gegeben werden müssen, aus derselben etwas Harn und Koth herausgepresst worden war. Da der Boden des Kastens mit Blech ausgekleidet ist, so konnte das auf diese Weise verloren Gegangene mittelst eines gewogenen Schwammes ziemlich vollständig gesammelt werden; dennoch ist anzunehmen, dass eine ziemliche Menge Wasser von dem ausgepressten Harn und Koth hatte abdunsten können. Die Gewichtsabnahme der Leiche innerhalb der 24 Stunden betrug diesmal 71 Grm., wovon jedoch unbedingt ein Theil auf Rechnung des von Harn und Koth abgedunsteten Wassers zu schreiben ist. Wir sehen also, dass die Ventilation auch in diesem Falle nur von

unbedeutendem Einflusse auf die Wasserverdunstung von der todten Haut war; jedenfalls lässt sich dieser Einfluss nicht vergleichen mit der Wirkung der Luftbewegung auf die Wasserverdunstung von der lebenden Haut, die wir weiter unten kennen lernen werden. Was die Grösse der angewandten Ventilation anbetrifft, so wurden in 24 Stunden 754263 Liter (754 Kubikmtr.) Luft durch den Kasten gezogen. Da derselbe eine Höhe von 195 Ctm. und eine Breite von 88 cm., also einen Querschnitt von 1.716 □ Meter besitzt, so betrug die Geschwindigkeit der aspirirten Luft im Kasten 0.51 Ctm. in der Sekunde. Dies ist dieselbe Grösse der Luftbewegung, die auch bei den Armen ohne Erfolg auf die Wasserverdunstung gewesen war. Es interessirte mich zu wissen, ob überhaupt diese Ventilationsgrösse in solchen Fällen, wo es sich nur um physikalische Vorgänge handelt, wo also die Lebensthätigkeit der Organe keine Rolle spielt, auf die Wasserverdunstung einen Einfluss haben könne. Zu diesem Zwecke nahm ich zwei kleine Bechergläser von vollständig gleichem Kaliber und füllte sie bis fast zum Rande mit Wasser, so dass in beiden der Durchmesser der Wasseroberfläche 3.2 Ctm., die Oberfläche selbst also 5.02 □ Ctm. betrug. Sodann wurden beide Gläschen auf einer feinen Waage gewogen und in ein Lokal gebracht, dessen Luft während der ganzen Versuchszeit eine gleichmässige Temperatur von 16—17° und eine relative Feuchtigkeit von 50—54% zeigte. Innerhalb der ersten 2 Stunden verlor das eine Gläschen (I) 0.101 Grm. an Gewicht, das andere (II) 0.103 Grm. Daraus berechnet sich die Wasserverdunstung in 24 Stunden

für I auf 1.21 Grm.
„ II „ 1.24 „ } auf 1 □ Ctm. = 0.245 Grm.

Während der folgenden 2 Stunden wurde Gläschen II in den Kasten des kleinen Respirations-Apparates gebracht und derselbe in Bewegung gesetzt. Gläschen I blieb ausserhalb des Kastens. Die Ventilationsgrösse in den 2 Stunden war 1600 Liter. Das Resultat des Versuches war folgendes:

| | Gewichtsabnahme | | |
|---|---|---|---|
| Gläschen I (ruhige Luft) | 0.094 Grm., | also in 24 Stunden | 1.13 Grm. |
| „ II (bewegte „ ) | 0.083 „ | „ „ 24 „ | 1.00 „ |

hiebei kommt im Mittel auf den □ Ctm. eine Verdunstung von 0.213 Grm. in 24 Stunden. — Der Versuch zeigt, dass die angewandte Stärke der Luftbewegung nicht hinreichte, um die Verdunstung von der freien Wasseroberfläche zu befördern. Die Berechnung ergibt, dass die Geschwindigkeit der Luft im Kasten in der Sekunde 0.14 Ctm. betrug.

Es sollte nun noch der Einfluss einer stärkeren Ventilation auf die Verdunstung von der freien Wasseroberfläche geprüft werden. Ich liess die Gläschen, deren Wasseroberfläche sich von 5.02 □ Ctm. auf 4.4 □ Ctm. verringert hatte, zuerst wieder 6 Stunden einfach im Zimmer stehen, um zu constatiren, dass ein erheblicher Unterschied in der Wasserverdunstung zwischen beiden nicht stattfinde. Die Gewichtsabnahme betrug während dieser Zeit

bei I 0.196 Grm.; also in 24 Stunden 0.78 Grm. } auf 1 □ Ctm.
„ II 0.178 „ ; „ „ 24 „ 0.71 „ } 0.170 Grm.

Sodann wurde Gläschen II wieder in den Kasten gebracht, und im Laufe von 12 Stunden 18640 Liter Luft durch den Kasten aspirirt. Nach Verfluss dieser Zeit war die Gewichtsabnahme

bei I 0.382 Grm.; also in 24 Stunden 0.76 Grm. } auf 1 □ Ctm.
„ II 0.351 „ ; „ „ 24 „ 0.70 „ } 0.166 Grm.

Trotz der gegenüber dem vorigen Versuch um's Doppelte verstärkten Ventilation (Luftgeschwindigkeit = 0.27 Ctm. in der Sekunde) war die Wasserverdunstung von Gläschen II nicht grösser geworden, und auch das Verhältniss der Verdunstung von Gläschen II zu derjenigen von Gläschen I war dasselbe geblieben, wie im früheren Versuche.

Ich hielt es somit für bewiesen, dass die hier in Betracht kommenden Ventilationsgrössen nicht im Stande sind, die Verdunstung von einer freien Wasseroberfläche zu beeinflussen, und es war nun auch der mangelnde Einfluss ähnlicher Ventilationsgrössen auf die todte Haut vollkommen erklärt, da die letztere sich in dieser Hinsicht nicht anders verhalten kann, als eine einfache Wasserfläche. Da jedoch diese Thatsache mit dem über den Einfluss der Ventilation auf die unmerkliche Wasserabgabe von der lebenden Haut Gefundenen in direktem Widerspruche steht, und bei der Erklärung der letzteren eine nicht unwesentliche Rolle spielt, so wiederholte

ich späterhin denselben Versuch mit grösseren Wasserflächen. Ich bediente mich dazu gläserner Schaalen, von denen die eine (I) nach der Füllung mit Wasser eine Verdunstungsfläche von 60.6 □ Ctm., die andere (II) eine Oberfläche von 62.6 □ Ctm. darbot. Schaale I wurde einfach ins Zimmer gestellt, Schaale II in den Kasten des kleinen Respirationsapparates. Die Temperatur des Zimmers betrug 18.8°, die relative Feuchtigkeit der Zimmerluft 62 %. Die Versuchsdauer betrug 16 Stunden, und wurden im Laufe dieser Zeit 19920 Liter Luft durch den Kasten aspirirt. Nach Beendigung des Versuchs betrug die Gewichtsabnahme

in I 3.0 Grm.; also in 24 Std. 4.5 Grm., und auf 1 □ Ctm. 0.074 Grm.
„ II 2.7 „ ; „ „ 24 „ 4.0 „ „ „ 1 „ 0.064 „

Es zeigte sich auch hier, dass die Ventilation (Luftgeschwindigkeit = 0.22 Ctm. in der Sekunde) von durchaus keinem begünstigenden Einflusse auf die Wasserabgabe von der Schaale II war. — Hierauf wurden beide Schaalen 9 Stunden lang in's Zimmer gestellt bei einer Temperatur von 18°. Nach Ablauf dieser Zeit war die Gewichtsabnahme

in I 1.8 Grm.; also in 24 Std. 4.8 Grm. und auf 1 □ Ctm. 0.079 Grm.
„ II 1.9 „ ; „ „ 24 „ 5.07 „ „ „ 1 „ 0.081 „

Diese Zahlen beweisen, dass überhaupt ein wesentlicher Unterschied in der Verdunstung von beiden Schaalen nicht existirte. — Zur Prüfung des Einflusses einer stärkeren Ventilation wurde Schaale II noch einmal in den Kasten des Respirationsapparates, Schaale I ins Zimmer gestellt. Die Zimmertemperatur war 18.5°, die relative Luftfeuchtigkeit 54 %; der Versuch dauerte 14 Stunden, während welcher Zeit 36374 Liter Luft durch den Kasten aspirirt wurden. Nach Beendigung des Versuchs war die Gewichtsabnahme

in I 2.9 Grm.; also in 24 Std. 4.97 Grm. und auf 1 □ Ctm. 0.082 Grm.
„ II 2.2 „ ; „ „ 24 „ 3.77 „ „ „ 1 „ 0.060 „

Die Zahlen bestätigen die früher erhaltenen Resultate: es ergibt sich, dass die angewandte Ventilation (Luftgeschwindigkeit = 0.45 Ctm. in der Sekunde) überhaupt keinen begünstigenden Einfluss auf die Wasserverdunstung von Schaale II ausübte, und dass es folglich innerhalb der Grenzen der von uns angewandten Ventilationsgrössen vollkommen gleichgültig ist, ob stärker oder schwächer ventilirt werde.

Ein Vergleich der Versuche über die Verdunstung des Wassers von den kleinen Bechergläsern einerseits und den Schaalen andrerseits ergibt ein Resultat, auf dessen Bedeutung wir später noch einmal zurückkommen werden. Es zeigt sich nämlich, dass die auf 1 □ Ctm. Oberfläche kommende Wasserabgabe bei den kleinen Gefässen — ceteris paribus — wenigstens noch einmal so gross ist, als bei den Schaalen: sie war bei den Bechergläsern im Mittel aus 8 Versuchen = 0.199 Grm., bei den Schaalen dagegen im Mittel aus 6 Versuchen nur 0.073 Grm.

Ich führe hier schliesslich noch einen Versuch an, den ich über die Grösse der Wasserverdunstung von freien Wasseroberflächen bei höherer Temperatur und bedeutender Trockenheit der Luft anstellte.

Dieselben Schaalen, die ich früher benutzt hatte, wurden, mit Wasser gefüllt und gewogen, in den Trockenschrank gestellt. Der Versuch dauerte 11 Stunden, während welcher die Temperatur zwischen 30 und 38° C. und die relative Feuchtigkeit der Luft zwischen 24 und 30 % schwankte. Die Gewichtsabnahme war nach Ablauf der Versuchszeit

in I 33.2 Grm.; also in 24 Std. 72.4 Grm. und auf 1 □Ctm. 1.195 Grm.
„ II 36.7 „ ; „ „ 24 „ 80.07 „ „ „ 1 „ 1.279 „

Später werden wir von diesem Resultat Gebrauch machen. Ich erwähne noch, dass Krause[1]) bei 35° C. und absolut trockener Luft eine Verdunstung von 2.00 Grm. auf den □ Ctm. erhielt. Die Differenz zwischen dieser Zahl und den im letzterwähnten Versuche von mir erhaltenen ist jedenfalls durch die Verschiedenheiten im Feuchtigkeitsgrade der Luft bei beiden Experimenten bedingt.

## B. Versuche über die Wasserverdunstung von der lebenden Haut.

Bei diesen Versuchen handelte es sich nicht sowohl darum, die absolute Grösse der Wasserverdunstung von der gesammten Körperoberfläche genau zu bestimmen, sondern vielmehr darum — die Wirkung der Veränderungen in den äusseren und inneren Beding-

---

1) Loco cit. pag. 151.

ungen auf die Verdunstung von einer bestimmten, bei allen Versuchen gleichbleibenden Hautoberfläche zu studiren. Es würde sicherlich zu schärferen Resultaten führen, wenn man die Wasserabgabe an der ganzen Haut unter verschiedenen Umständen vergleichen würde; dazu wäre aber der grosse Respirationsapparat nöthig gewesen, der zu anderen Versuchen beständig in Beschlag genommen ist und mit dem auch vielfach variirte Veruche zu mühsam gewesen wären. Ich beschränkte mich daher auf die Untersuchung der von einem Theile der Haut abgegebenen Wassermenge. Professor Voit war so freundlich, mir für diese Experimente den kleinen Respirationsapparat seines Institutes zur Verfügung zu stellen. Die Anordnung der Versuche selbst war folgende: an dem Kasten des Apparates, in welchen der dem Experimente zu unterwerfende Körpertheil gebracht werden soll, ist die eine der gläsernen Wände durch ein Blech ersetzt; eine kreisrunde Oeffnung von etwa 12 Ctm. Durchmesser im untern Theile dieser Blechwand gestattet das Hineinschieben des Armes in den Kasten bis zur Schulter; ein röhrenförmiger Vorsprung am Rande dieser Oeffnung dient zur Befestigung einer durchlöcherten Kautschukkappe, die den Arm durchtreten lässt und einen hinlänglichen Verschluss vermittelt, ohne jedoch die oberflächlich gelegenen Venen des Oberarmes zu comprimiren. Der Arm selbst liegt dabei zweckmässig in drei mit einem Ausschnitte versehenen schmalen Holzklötzchen, damit derselbe möglichst von allen Seiten von der Luft umspült wird. Der Kasten wird mit Hilfe eines Wasserrades unausgesetzt ventilirt, wodurch der von der Haut abgegebene Wasserdunst beständig weggenommen und somit die Perspiration nicht durch die Gegenwart einer mit Wasserdampf gesättigten Atmosphäre gehemmt wird. Die Menge der aus dem Kasten wieder austretenden Luft wird durch eine Gasuhr gemessen, so dass also die Ventilationsgrösse genau bekannt ist. Ein ebenfalls durch Gasuhren zu bestimmender Theil dieser Luft wird mit Hülfe geeigneter Quecksilberventile und Quecksilberpumpen durch Kölbchen getrieben, die mit concentrirter Schwefelsäure getränkten Bimsstein enthalten; hier gibt die Luft ihr Wasser vollständig ab. Es dienen hiezu zwei Pumpen, so dass zwei gesonderte Proben der Luft analysirt werden können, wodurch die bei solchen Arbeiten

unerlässliche Controle gesichert ist. Parallel hiemit geht auch die Bestimmung des Wassergehaltes der Zimmerluft. Die letztere wird durch denselben Motor, der den Kasten ventilirt, aspirirt, und zwar tritt sie am nämlichen Orte in die für sie bestimmte Glasröhre ein, an dem auch die Luft zur Ventilation des Kastens entnommen wird. Durch Pumpen und Ventile wird sie ebenfalls in vorgelegte Absorptionskölbchen getrieben und so ihres Wassers beraubt; die Quantität der auf diese Weise untersuchten Zimmerluft wird ebenfalls durch Gasuhren gemessen; auch hier werden zwei Parallelbestimmungen ausgeführt.

Wenn man nun die vorgelegten Bimssteinkölbchen unmittelbar vor und ebenso unmittelbar nach dem Versuche wägt, so erhält man in der Gewichtszunahme derjenigen Kölbchen, durch welche nur die Zimmerluft getrieben wurde, den absoluten Wassergehalt der durchgetretenen Luftmenge; in der Gewichtszunahme derjenigen Kölbchen dagegen, durch welche die aus dem Kasten aspirirte und über dem Arme weggestrichene Luft hindurchgetrieben wurde, bekommt man erstens den absoluten Wassergehalt der äussern Luft und zweitens — die Menge des in das betreffende Luftquantum durch die Hautperspiration übergegangenen Wassers. Da nun jede der 4 Pumpen mit einer besonderen Gasuhr verbunden ist, so weiss man genau, wie viel Luft durch jede Pumpe und also auch durch die ihr entsprechenden Kölbchen hindurchgetreten ist. Man kann also leicht ausrechnen, wie viel Wasser in 1000 Liter der durchgetretenen Luft enthalten ist; die Differenz im Wassergehalte der äussern und der durch den Kasten getretenen Luft gibt dann unmittelbar an, wie viel Wasser in 1000 Liter der letzteren durch die Hautperspiration übergegangen ist. Da man auch die Menge der während der ganzen Versuchszeit durch den Kasten hindurchgetretenen Luft kennt, so lässt sich wiederum leicht berechnen, wie viel Wasser die betreffende Hautoberfläche überhaupt während der ganzen Dauer des Versuchs abgegeben hat.

Die Versuche habe ich alle an mir selbst angestellt; ich benutzte dazu den rechten Arm, der jedesmal bis zur nämlichen Stelle in den Kasten geschoben wurde, so dass die Hautoberfläche, die das Perspirat lieferte, jedesmal die nämliche war; das oberste

Dritttheil des Oberarmes blieb ausserhalb des Kastens[1]). Die Versuche dauerten alle genau 3 Stunden und 9 Minuten. Die weitaus grösste Zahl derselben wurde im Laufe des Vormittags unternommen, nachdem ich einige Stunden vorher zwei Tassen Thee oder Kaffee getrunken hatte. Die Versuche fallen grösstentheils in die Wintermonate, theilweise aber auch in Frühjahr und Sommer.

Zur Veranschaulichung der Rechnung, und um zu zeigen, wie genau die Controlversuche untereinander stimmen können, will ich die Berechnung hier beispielsweise für einen Versuch durchführen. Hiebei bedeuten A I und A II diejenigen Bimssteinkölbchen, in denen die äussere Luft ihr Wasser abgibt, J I und J II die Kölbchen, in welchen der Wassergehalt der aus dem Kasten tretenden Luft bestimmt wird. Die 4 Gasuhren, durch welche die Menge der durch die entsprechenden Kölbchen tretenden Luft gemessen wird, sind ebenfalls mit A I und A II, J I und J II bezeichnet.

| Kölbchen. | Anzahl der Umdrehungen der entsprechenden Gasuhren. | Menge der durchgetretenen Luft in Litern. | Differenz im Gewicht der Kölbchen vor und nach dem Versuch in Grammen. | Wassermengen in 1000 Liter der durchgetretenen Luft in Grammen. |
|---|---|---|---|---|
| A I | 15.483 | 39.1735 | 0.0848[2]) | 2.1647 |
| A II | 14.415 | 36.1110 | 0.0786 | 2.1766 |
| J I | 12.694 | 31.1920 | 0.3588 | 11.5031 |
| J II | 13.578 | 34.0916 | 0.3928 | 11.5218 |
| | | | J im Mittel | 11.5125 |
| | | | A " " | 2.1707 |
| | Auf 1000 Liter Luft v. Arm abgegeben | | | 9.3418 Gramm Wasser. |

Da die Menge der durch den Kasten getretenen Luft in diesem Versuche 5824.2 Liter betrug, so ist die Wasserabgabe vom Arm = 54.4085 Grm. Die genaue Uebereinstimmung der beiden Controlversuche lässt keinen Zweifel an der Richtigkeit des Resultates aufkommen.

1) Ich bemerke hier im Interesse Solcher, die etwa ähnliche Versuche unternehmen wollten, dass der Raum, in welchem sich der als Versuchsobject dienende Körpertheil befindet, eine gewisse Grösse haben muss, damit sich nicht, trotz genügender Ventilation, an den Wänden ein Theil des verdunsteten Wassers in tropfbarflüssiger Form niederschlage. Letzteres war der Fall, als ich anfangs, statt des Kastens, einen langen, aber verhältnissmässig engen Glascylinder zu den Versuchen benutzen wollte.

2) Künstlich getrocknete Luft.

Der Genauigkeit halber erwähne ich, dass in Beziehung auf die Zahlen, welche die absolute Menge des vom Arme während des Versuchs abgegebenen Wassers ausdrücken, zwei kleine Correkturen vorzunehmen sind. Dieselben ändern aber am Gesammtresultate so wenig, dass ich mich begnüge, ihrer hier Erwähnung zu thun und die Berechnung der durch ihre Vernachlässigung erwachsenden Fehler für einige extreme Fälle durchzuführen.

Die erste Correktur ist nöthig, weil nach Beendigung des Versuchs die Luft des Kastens, in welchem der Arm sich befand, noch Wasser enthält, das vom Arm abgegeben war. Da der Kubikinhalt des Kastens bekannt ist (64 Liter), und da man weiss, wie viel in dem betreffenden Versuch Wasser vom Arme an je 1000 Liter Luft abgegeben wurde, so ist leicht zu berechnen, wie viel Wasser auf die 64 Liter trifft. Dabei ist aber, wie Pettenkofer[1]) auseinandergesetzt hat, zu bedenken, dass in 1000 Liter der im Kasten zurückbleibenden Luft mehr Wasser enthalten ist, als in 1000 Liter der untersuchten und durch die grosse Gasuhr gegangenen Luft, da diese letztere durch die anfänglich im Kasten befindliche Luftmenge von 64 Litern verdünnt wurde. Sind also z. B. an 5000 Liter Luft 50 Grm. Wasser vom Arme abgegeben worden oder an 1000 Liter 10 Grm., so frägt man, wie viel in den 64 Liter Luft des Kastens sich noch befinden, wenn in 5000 minus 64, d. i. in 4936 Liter 50 Grm. Wasser gefunden worden sind.

Die zweite Correktur bezieht sich darauf, dass diejenige Luft, welche durch die zwei kleinen, mit den Pumpen für die innere Luft in Verbindung stehenden Gasuhren austritt, in der grossen Gasuhr nicht gemessen wird, wodurch man in Bezug auf die Ventilationsgrösse ein Defizit erhält. Es müssen also die durch diese Gasuhren austretenden Luftquantitäten zu der durch die grosse Gasuhr angegebenen Ventilationsgrösse hinzuaddirt und dann das abgegebene Wasserquantum auf diese Ventilation berechnet werden. Die beiden Fehler fallen natürlich in derselben Richtung aus; die Vernachlässigung beider bewirkt, dass man eine kleinere Wasserabgabe erhält, als wirklich stattgefunden hat. Am stärksten muss

1) Annal. d. Chem. u. Pharm. 1862. 2 Suppl. Bd. S. 39.

dies hervortreten in denjenigen Fällen, wo die abgegebene Wassermenge sehr gering ist. Der extremste Fall ist folgender: nach der Rechnung ohne Correktion wurden in 24 Stunden vom Arme abgegeben 3.5087 Grm. Wasser; nun berechnet sich aber mit Berücksichtigung der durch die zwei kleinen Gasuhren ausgetretenen Luftmenge nicht 3.5087 Grm., sondern 3.5483 Grm., und die Menge des im Kasten gebliebenen, vom Arme herrührenden Wassers beträgt 0.174 Grm., so dass in diesem Falle im Ganzen 3.7223 Grm. Wasser abgegeben wurden. Der Unterschied beträgt folglich nur 0.21 Grm., bei der kleinen Gesammtsumme aber macht dies doch 5.7% aus.

Führt man dieselbe Rechnung auch für andere, weniger extreme Fälle durch, so zeigt sich, dass der durch Vernachlässigung der genannten Correktionen erzeugte Fehler im Allgemeinen zwischen 2 und 5% der Gesammtsumme ausmacht; meist jedoch übersteigt er nicht 2 oder 3%. Das relative Verhältniss der die Gesammtwasserabgabe ausdrückenden Zahlen wird also hiedurch fast gar nicht geändert, und auch die absoluten Zahlen werden nur äusserst wenig alterirt. Beispielsweise führe ich noch zwei Berechnungen der Correktionen durch:

1) Die Wasserabgabe ohne Correktion beträgt 34.487 Grm. Mit Berücksichtigung der durch die kleinen Gasuhren austretenden Luft erhält man 34.905 Grm., und dazu kommen noch 0.366 Grm. Wasser, die in der im Kasten gebliebenen Luft enthalten waren. Im Ganzen bekommt man also 35.271 Grm., — folglich eine Differenz von 2.2%.

2) Die Wasserabgabe ohne Correktion beträgt 81.478 Grm. (künstlich getrocknete Luft). Mit Berücksichtigung der zweiten Correktion erhält man statt dessen 82.3876 Grm. Dazu kommen zu Folge der ersten Correktion noch 0.611 Grm. Das Gesammtresultat ist also = 82.998 Grm., — das ergibt eine Differenz von 1.8%.

Die Versuche wurden unter mannigfachen Modifikationen der äusseren und inneren Bedingungen angestellt. Ich will hier zuerst alle diejenigen Versuche anführen, die am nackten Arme bei verschiedener Temperatur, verschiedenem Wassergehalte der Luft und verschiedener Stärke der Ventilation angestellt wurden. Ein im Kasten angebrachtes Thermometer, dessen Stand wenigstens nach

Ablauf je einer Stunde, bei rascherem Temperaturwechsel (wie z. B. im Winter, in Folge der Heizung des Zimmers durch einen eisernen Ofen) sogar alle halbe Stunden abgelesen wurde, gab die Temperatur an, bei der die Wasserverdunstung von der Haut stattfand. Es wurde übrigens so viel als möglich dafür Sorge getragen, dass die Temperaturschwankungen während des Versuchs selbst möglichst klein blieben. Die Ventilationsgrösse konnte durch Regulirung des als Motor dienenden Wasserstrahles beliebig festgestellt werden, blieb aber während der Dauer eines Versuches immer die nämliche. — Nach den aus dem Versuche selbst direkt resultirenden Zahlen für den absoluten Wassergehalt der äussern (Zimmer-) Luft wurde der relative Feuchtigkeitsgrad derselben bestimmt und in die Tabellen aufgenommen [1]).

Die folgende Tabelle ist nach der Grösse der innerhalb der Versuchsdauer von der Oberfläche des Armes erfolgten Wasserabgabe geordnet.

Tabelle I.

Wasserabgabe bei nacktem Arm bei verschiedener Temperatur und Feuchtigkeit der Luft und verschiedener Ventilation.

| Versuch. | Wasserabgabe vom Arm in Grammen. | Temperatur nach Cels. | Relative Feuchtigkeit der Zimmerluft. | Ventilationsgrösse in Litern. |
|---|---|---|---|---|
| 1. | 2.7256 | 18.2 | 77 | 5988.0 |
| 2. | 3.5087 | 16.5 | 55 | 1355.8 |
| 3. | 4.2563 | 18.7 | 56 | 1418.3 |
| 4. | 8.5750 | 9.5 | 36 | 4127.3 |
| 5. | 11.4444 | 19.9 | 62 | 3689.0 |
| 6. | 13.6830 | 17.2 | 50 | 6304.7 |
| 7. | 14.9943 | 18.0 | 36 | 4157.7 |
| 8. | 17 6220 | 18.9 | 35 | 3379.0 |
| 9. | 17.8194 | 16.6 | 33 | 8704.7 |
| 10. | 18.1780 | 17.7 | 49 | 9852.6 |
| 11. | 18.2334 | 17.5 | 43 | 5967.4 |
| 12. | 19.5514 | 20.1 | 48 | 3195.4 |
| 13. | 21.2288 | 18.9 | 48 | 10172.4 |

1) Ich benutzte hiezu die von Herrn Wild, Direktor des physikalische Central-Observatoriums zu St. Petersburg verfertigten Tafeln.

| Versuch. | Wasserabgabe vom Arm in Grammen. | Temperatur nach Cels. | Relative Feuchtigkeit der Zimmerluft. | Ventilationsgrösse in Litern. |
|---|---|---|---|---|
| 14. | 24.1787 | 14.1 | 42 | 8341.8 |
| 15. | 27.5230 | 18.0 | 43 | 9077.5 |
| 16. | 29.8089 | 17.7 | 41 | 8932.6 |
| 17. | 34.2453 | 20.3 | 47 | 6360.8 |
| 18. | 34.4870 | 22.8 | 33 | 6084.7 |
| 19. | 38.1823 | 15.0 | 18 | 5069.3 |
| 20. | 44.8095 | 19.0 | 26 | 7341.0 |
| 21. | 47.7380 | 16.8 | 15 | 5113.7 |
| 22. | 58.0854 | 17.4 | 15 | 6048.0 |

Auf den ersten Blick fallen die gewaltigen Schwankungen in der Wasserabgabe, die sich in diesen 22 Versuchen aussprechen, in die Augen. Da die inneren Bedingungen in allen Experimenten möglichst dieselben waren, so muss der Grund dieser Schwankungen in den in der Tabelle berücksichtigten äusseren Bedingungen liegen. Der Einfluss derselben ist so stark, dass sie die Wasserverdunstung um das Zwanzigfache des allerdings unter künstlichen Verhältnissen beobachteten Minimums und um das 4—5 fache der unter mittleren Verhältnissen erreichten Grösse steigern können; ich mache ausserdem schon hier aufmerksam auf den gewaltigen Unterschied, der besteht zwischen den Resultaten der Einwirkung der genannten äusseren Bedingungen auf die lebende Haut einerseits und auf die todte Haut andrerseits. Auch lässt sich schon aus dieser ersten Tabelle in allgemeinen Umrissen erkennen, dass höhere Temperatur, geringer Feuchtigkeitsgrad der umgebenden Luft und stärkere Luftbewegung die Wasserverdunstung begünstigen. Hiebei findet eine gegenseitige Compensation durch die drei erwähnten Faktoren statt: wo vom Arme wenig Wasser abgegeben wird, finden wir entweder eine sehr bedeutende Feuchtigkeit der Aussenluft, oder eine niedrigere Temperatur derselben, oder eine unbedeutende Ventilationsgrösse; die mittleren Grade der Wasserabgabe gehen im Allgemeinen parallel mit einem mittleren Feuchtigkeitsgehalte der Luft und mit mittleren Temperaturgraden; sehr grosse Wassermengen werden abgegeben entweder bei hoher Temperatur oder bei sehr geringem Feuchtigkeitsgehalte der Aussenluft. Am deutlichsten ist schon in

dieser Tabelle die Abhängigkeit der Wasserabgabe vom Feuchtigkeitsgrade der Zimmerluft ausgesprochen, — der constant zunehmenden Wasserverdunstung geht die Abnahme des Feuchtigkeitsgehaltes der Zimmerluft mit wenigen Ausnahmen parallel. Dieser Einfluss der Luftfeuchtigkeit zeigt sich deutlich in folgender Tabelle, die nach der relativen Feuchtigkeit der Zimmerluft bei den einzelnen Versuchen geordnet ist.

Tabelle II.

| Versuch. | Wasserabgabe vom Arm. | Relative Feuchtigkeit der Zimmerluft. | Temperatur. | Ventilationsgrösse. |
|---|---|---|---|---|
| 1. | 2.7256 | 77 | 18.2 | 5988.0 |
| 2. | 11.4444 | 62 | 19.9 | 3689.0 |
| 3. | 4.2563 | 56 | 18.7 | 1418.3 |
| 4. | 3.5087 | 55 | 16.5 | 1355.3 |
| 5. | 13.6830 | 50 | 17.2 | 6304.7 |
| 6. | 18.1780 | 49 | 17.7 | 9852.6 |
| 7. | 19.5514 | 48 | 20.1 | 3195.4 |
| 8. | 21.2288 | 48 | 18.9 | 10172.4 |
| 9. | 34.2453 | 47 | 20.3 | 6360.8 |
| 10. | 18.2334 | 43 | 17.5 | 5967.4 |
| 11. | 27.5230 | 43 | 18.0 | 9077.5 |
| 12. | 24.1787 | 42 | 14.1 | 8341.8 |
| 13. | 29.8089 | 41 | 17.7 | 8932.6 |
| 14. | 14.9943 | 36 | 18.0 | 4157.7 |
| 15. | 17.6220 | 35 | 18.9 | 3379.0 |
| 16. | 17.8194 | 33 | 16.6 | 8704.7 |
| 17. | 34.4870 | 33 | 22.8 | 6084.7 |
| 18. | 44.8095 | 26 | 19.0 | 7341.0 |
| 19. | 38.1823 | 18 | 15.0 | 5069.3 |
| 20. | 47.7380 | 15 | 16.8 | 5113.7 |
| 21. | 58.0854 | 15 | 17.4 | 6048.0 |

Man sieht, dass im Grossen und Ganzen mit abnehmender Feuchtigkeit der Luft, auch bei grossen Schwankungen in der Temperatur und Ventilationsgrösse, die Wasserverdunstung ziemlich constant zunimmt. Wo man Ausnahmen findet, lassen sie sich durch allzugrosse Differenzen in der Temperatur der Luft oder in der Ventilationsgrösse genügend erklären. — Weit unregelmässiger wird die Reihe, wenn man sie nach der Höhe der Temperatur der

Zimmerluft in den einzelnen Versuchen ordnet, wie dies in der folgenden Tabelle geschehen ist:

Tabelle III.

| Versuch. | Wasserabgabe vom Arm. | Temperatur. | Relative Feuchtigkeit. | Ventilationsgrösse. |
|---|---|---|---|---|
| 1. | 34.4870 | 22.8 | 33 | 6084.7 |
| 2. | 34.2453 | 20.3 | 47 | 6360.8 |
| 3. | 19.5514 | 20.1 | 48 | 3195.4 |
| 4. | 11.4444 | 19.9 | 62 | 3689.0 |
| 5. | 44.8095 | 19.0 | 26 | 7341.0 |
| 6. | 21.2288 | 18.9 | 48 | 10172.4 |
| 7. | 17.6220 | 18.9 | 35 | 3379.0 |
| 8. | 4.2563 | 18.7 | 56 | 1418.0 |
| 9. | 2.7256 | 18.2 | 77 | 5988.0 |
| 10. | 27.5230 | 18.0 | 43 | 9077.5 |
| 11. | 14.9943 | 18.0 | 36 | 4157.7 |
| 12. | 29.8089 | 17.7 | 41 | 8932.6 |
| 13. | 18.1780 | 17.7 | 49 | 9852.6 |
| 14. | 18.2334 | 17.5 | 43 | 5967.4 |
| 15. | 58.0854 | 17.4 | 15 | 6048.0 |
| 16. | 13.6830 | 17.2 | 50 | 6304.7 |
| 17. | 47.7380 | 16.8 | 15 | 5113.7 |
| 18. | 17.8194 | 16.6 | 33 | 8704.7 |
| 19. | 3.5087 | 16.5 | 55 | 1355.3 |
| 20. | 38.1823 | 15.0 | 18 | 5069.3 |
| 21. | 24.1787 | 14.1 | 42 | 8341.8 |
| 22. | 8.5750 | 9.5 | 36 | 4127.3 |

Man sieht, dass sich der Parallelismus zwischen Temperatur und Wasserverdunstung lange nicht so deutlich ausspricht, als derjenige zwischen der relativen Luftfeuchtigkeit und der Verdunstung (siehe Tabelle II). Dies ist ein Beweis dafür, dass es für die beiden übrigen Faktoren, — Feuchtigkeitsgrad der Luft und Ventilationsgrösse, — ein Leichtes ist, den Einfluss der Temperatur zu modifiziren. — Ein ganz ähnliches Resultat ergibt sich, wenn man die Reihe nach der Ventilationsgrösse anordnet, was ich hier nicht ausführen will: die grossen und kleinen Zahlen für die Wasserverdunstung erscheinen dabei bunt durcheinander gewürfelt, und es lässt sich eine Regelmässigkeit im Ansteigen der Wasserabgabe

mit der Zunahme der Ventilation nicht bemerken. Es folgt daraus, dass Temperatur und Feuchtigkeitsgehalt der Luft den begünstigenden Einfluss stärkerer Ventilation auf die Wasserverdunstung von der lebenden Haut leicht modifiziren können.

Aus dem Gesagten ist wohl der Schluss schon jetzt erlaubt, dass die relative Feuchtigkeit der umgebenden Luft der wichtigste äussere Faktor ist für die Wasserverdunstung von der Oberfläche unseres lebenden Körpers, — ihr Einfluss wird am wenigsten durch die andern Faktoren modifizirt.

Ich gehe nun über zur Würdigung des Einflusses der einzelnen Faktoren. — Zuerst will ich nur noch an einem Beispiele zeigen, dass bei gleichen Bedingungen auch wirklich gleich grosse Mengen Wasserdampf erhalten wurden.

Tabelle IV.

| Wasserabgabe vom Arme. | Temperatur. | Relative Feuchtigkeit. | Ventilationsgrösse. |
|---|---|---|---|
| 27.5230 | 18.0 | 43 | 9077.5 |
| 29.8089 | 17.7 | 41 | 8932.6 |

Der entscheidende Einfluss des Feuchtigkeitsgrades der umgebenden Luft auf die Wasserverdunstung von der lebenden Haut lässt sich sehr deutlich aus folgenden Reihen erkennen.

Tabelle V.

Wasserverdunstung bei verschiedener relativer Feuchtigkeit — ceteris paribus.

| Versuch. | Wasserabgabe vom Arme. | Temperatur. | Ventilationsgrösse | Relative Feuchtigkeit | Plus d. Wasserabgabe auf je 1% rel. Feuchtigkeit weniger. |
|---|---|---|---|---|---|
| 1. | 2.7256 | 18.2 | 5988.0 | 77 } | .... 0.406 Grm. |
| 2. | 13.6830 | 17.2 | 6304.7 | 50 } | .... 0.650 „ |
| 3. | 18.2334 | 17.5 | 5967.4 | 43 } | |
| 4. | 58.0854 | 17.4 | 6048.0 | 15 } | .... 1.423 „ |
| 5. | 11.4444 | 19.9 | 3689.0 | 62 } | .... 0.579 „ |
| 6. | 19.5514 | 20.1 | 3195.4 | 48 } | |

Zu dieser Reihe muss ich in erster Linie bemerken, dass in Versuch 1) die Luft, welche in den Kasten aspirirt wurde, vorerst

künstlich auf einen höheren Feuchtigkeitsgrad gebracht, in Versuch 4) dagegen künstlich getrocknet worden war. Beides erreichte ich mit Hülfe einer circa anderthalb Meter langen und 5—6 Cm. im Durchmesser haltenden Glasröhre, die das eine Mal mit von Wasser durchtränktem Bimsstein, das andere Mal mit gröberen und feineren Stücken von Chlorcalcium angefüllt war. Diese Röhre wurde luftdicht mit demjenigen Rohre verbunden, durch welches die aspirirte Luft in den Kasten tritt; ausserdem wurde die Einrichtung getroffen, dass ein Theil der durch diese Glasröhre gestrichenen Luft auf ihren Wassergehalt untersucht werden konnte, d. h. es wurde die Glasröhre durch eine besondere Vorrichtung auch mit jener kleinen Röhre verbunden, welche sonst die Zimmerluft behufs ihrer Untersuchung auf Wassergehalt aufzunehmen pflegte. Luftdichter Verschluss der Röhren und des Kastens, der zu diesen Versuchen mit künstlich getrockneter oder feucht gemachter Luft absolut nöthig war, wurde dadurch erreicht, dass ich alle Spalten, welche die eine bewegliche Wand des Kastens darbot, mit Wachs sorgfältig verstopfte; nachdem dies geschehen war, wurde der Kasten mit Leuchtgas gefüllt und nun auf seine Luftdichtigkeit ganz in derselben Weise geprüft, wie man dies bei den Gasleitungen zu thun pflegt. — Diese beiden extremen Fälle, in denen mit sehr trockener und sehr feuchter Luft operirt wurde, zeigen mit Evidenz den mächtigen Einfluss des Feuchtigkeitsgrades der Aussenluft auf die Wasserverdunstung von unserer Körperoberfläche; derselbe ist jedoch auch bei weniger grossen Differenzen im Wassergehalt der Atmosphäre deutlich sichtbar. Die Zahlen der letzten Rubrik der Tabelle V, in denen die Mehrverdunstung berechnet ist, die je auf ein Procent Differenz in der relativen Feuchtigkeit trifft, zeigen zweifellos, dass die Wasserverdunstung *nicht proportional* mit der Abnahme der relativen Feuchtigkeit der umgebenden Atmosphäre zunimmt, sondern *in einer gewissen Progression: je trockner die Luft an und für sich ist, desto mehr Wasser verdunstet auf jedes Procent Abnahme in der relativen Feuchtigkeit derselben.* Die Art der Progression in der Wasserverdunstung scheint hiebei von der absoluten Temperaturhöhe und von der Ventilationsgrösse ziem-

lich unabhängig zu sein; dies geht aus einer Vergleichung der Versuche 5) und 6) (Tabelle V) mit Versuch 1—4 hervor: die Zahl der letzten Rubrik bei Versuch 5) und 6) fällt direkt zwischen die entsprechenden Zahlen bei Versuch 1), 2) und 3), wie man es nach dem Feuchtigkeitsgrade der Luft bei 5) und 6) erwarten konnte, — und doch zeigen Temperatur und Ventilationsgrösse in 5) und 6) bedeutende Verschiedenheiten von denselben Faktoren bei Versuch 1—4.

Der Einfluss von Temperaturdifferenzen der äusseren Luft auf die Wasserverdunstung von der Körperoberfläche spricht sich in folgenden Reihen deutlich aus:

Tabelle VI.

Wasserverdunstung bei ungleichen Temperaturen — ceteris paribus.

| Versuch. | Wasserabgabe vom Arme. | Relative Feuchtigkeit. | Ventilationsgrösse. | Temperatur. | Plus d. Wasserabgabe auf je 1° Cels. Temperaturzuwachs. |
|---|---|---|---|---|---|
| 1. | 3.5087 | 55 | 1355.3 | 16.5 | 0.340 Gramm. |
| 2. | 4.2563 | 56 | 1418.3 | 18.7 | |
| 3. | 8.5750 | 36 | 4127.3 | 9.5 | 0.755 „ |
| 4. | 14.9943 | 36 | 4157.7 | 18.0 | |
| 5. | 18.1780 | 49 | 9852.6 | 17.7 | 2.543 „ |
| 6. | 21.2288 | 48 | 10172.4 | 18.9 | |
| 7. | 38.1823 | 18 | 5069.3 | 15.0 | 5.308 „ |
| 8. | 47.7380 | 15 | 5118.7 | 16.8 | |

Man sieht, dass unter übrigens gleichen Umständen eine höhere Aussentemperatur die Wasserverdunstung vom lebenden Körper sehr begünstigt. Doch lässt sich aus dem vorhandenen Material kein Gesetz über die Grösse der bei einem bestimmten Temperaturzuwachs erfolgenden Vermehrung der Wasserverdunstung ableiten; das jedoch sieht man aus der letzten Rubrik, dass diese Grösse abhängig ist von den begleitenden Umständen, — vom Wassergehalte der Luft und von der Stärke des Luftzuges: bei grösserer Feuchtigkeit der Aussenluft hat die Temperatursteigerung um 1° Cels. weniger Einfluss auf die Wasserverdunstung, als bei bedeutender Trockenheit der Luft. Dies erklärt sich recht gut daraus, dass bei grösserer Trockenheit der Luft die Fähigkeit der-

selben Wasser aufzunehmen mit jedem Temperaturgrade um eine bedeutendere Grösse wächst, als bei erheblicher Feuchtigkeit. — Der Einfluss der Ventilation zeigt sich insofern, als bei stärkerem Luftzuge und ursprünglich gleicher Temperaturhöhe dieselbe Temperaturzunahme eine bedeutendere Steigerung in der Verdunstung zur Folge hat, als bei schwächerer Luftbewegung. Die Ursache hievon liegt darin, dass im ersteren Falle mehr Luft von der höheren Temperatur mit der verdunstenden Oberfläche in Berührung kommt als im letzteren.

Man könnte nun vielleicht denken, es sei die Steigerung der Temperatur bei gleichbleibender relativer Feuchtigkeit nur desshalb von begünstigendem Einflusse auf die Wasserverdunstung, weil die höher temperirte Luft bei gleicher relativer Feuchtigkeit absolut mehr Wasser aufnehmen kann als die niedriger temperirte. Zweifelsohne erklärt dieser Umstand die Erscheinung theilweise, aber nicht ganz, sondern es muss die höhere Temperatur als solche, durch ihren Einfluss auf die Vorgänge in der lebenden Haut selbst, die Wasserabgabe begünstigen. Dass dies wirklich geschieht, geht deutlich aus folgender Reihe hervor.

Tabelle VII.

| Wasserabgabe vom Arme. | Temperatur. | Ventilationsgrösse. | Menge des von je 1000 Liter der Luft noch aufzunehmenden Wassers. |
|---|---|---|---|
| 19.5514 | 20.1 | 3195.4 | 9.0 Gramm. |
| 17.8194 | 16.6 | 8704.7 | 9.4 „ |

In diesen zwei Versuchen ist die Menge des von je 1000 Liter der über die Haut hinstreichenden Luft noch aufzunehmenden Wassers vollkommen gleich; die Ventilation wäre einer vermehrten Wasserverdunstung im zweiten Versuche sehr günstig, aber die Temperatur im zweiten Versuche ist niedriger als im ersten, und aus diesem Grunde wird eine geringere Menge Wasser abgegeben. Somit muss man annehmen, dass die Temperatur als solche Veränderungen in der Haut bewirkt, welche die Lieferung von Wasser an die verdunstende Oberfläche begünstigen. Ist einmal mehr Wasser geliefert, so steht seiner Verdunstung nichts im Wege, trotzdem dass die Menge des von

der Aussenluft aufzunehmenden Wassers die nämliche geblieben ist; dies geht aus der Thatsache hervor, dass in keinem der von mir angestellten Versuche die aus dem Kasten austretende Luft vollständig oder auch nur annähernd mit Wasser gesättigt war: auch in denjenigen Fällen, wo die grösste Sättigung der austretenden Luft erreicht wurde, konnten von je 1000 Liter Luft immer noch 2—2.5 Grm. Wasser aufgenommen werden.

Ich komme jetzt zur Besprechung des Einflusses der Ventilation auf die Wasserverdunstung von der lebenden Haut.

Tabelle VIII.

Wasserverdunstung bei ungleicher Ventilation — ceteris paribus.

| Versuch. | Wasserabgabe vom Arme. | Temperatur. | Relative Feuchtigkeit. | Ventilationsgrösse. | Luftgeschwindigkeit in 1 Sekunde (in Ctm.) | Plus der Wasserabgabe auf je 1000 Lit. Zunahme in der Ventilation. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1. | 3.5087 | 16.5 | 50 | 1355.3 | 0.075 | 2.056 Gramm |
| 2. | 13.6830 | 17.2 | 50 | 6304.7 | 0.347 | |
| 3. | 18.1780 | 17.7 | 49 | 9852.6 | 0.534 | 1.267 „ |
| 4. | 18.2334 | 17.5 | 43 | 5967.4 | 0.329 | 3.904 „ |
| 5. | 29.8089 | 17.7 | 41 | 8932.6 | 0.492 | |
| 6. | 19.5514 | 20.1 | 48 | 3195.4 | 0.176 | 4.639 „ |
| 7. | 34.2453 | 20.3 | 47 | 6360.8 | 0.351 | |

Es ergibt sich aus diesen Reihen, dass unter übrigens gleichen Umständen der Einfluss der Ventilation auf die Wasserverdunstung von der lebenden Haut ein bedeutender ist. Es lässt sich zwar aus dem vorhandenen Material kein Gesetz über die Grösse dieses Einflusses ableiten; ich bin auch nicht im Stande zu erklären, warum in der einen Reihe auf ein Plus von 1000 Liter Ventilationsgrösse nur 1.267 Gramm Wasser mehr abgegeben werden, in der andern Reihe dagegen 4.639 Gramm mehr, aber die mangelnde Erklärung für die Schwankungen in der Mehr-Verdunstung thut der Thatsache selbst keinen Eintrag, und wir anerkennen also, dass bei Verstärkung der Ventilation — ceteris paribus — eine Vermehrung der Wasserverdunstung von der lebenden Haut stattfindet. — Ich mache hier schon aufmerksam auf die grosse Empfindlichkeit der lebenden Haut der Luftbewegung ge-

genüber: während es für die todte Haut keinen Unterschied macht, ob die Luft mit einer Geschwindigkeit von 0.14 Ctm. oder von 0.51 Ctm. in der Sekunde über sie hinstreicht, — während von einer Wasseroberfläche gleichviel verdunstet, ob die Luft über derselben ganz in Ruhe ist oder sich mit einer Geschwindigkeit von 0.22 Ctm. in der Sekunde über das Wasser hin bewegt, reagirt die lebende Haut auf äusserst geringe Differenzen in der Luftbewegung verhältnissmässig stark; es ist ein grosser Unterschied, ob die Luft mit einer Geschwindigkeit von 0.34 oder 0.54 Ctm. in der Sekunde über unsern nackten Körper hinstreicht. Wir fühlen von einer solchen Differenz in der Luftbewegung absolut nichts, und doch wird die Wasserverdunstung in hohem Maasse davon beeinflusst. Auf die Erklärung dieses auffallenden Faktums werden wir später zurückkommen.

Ich will nun noch an einigen Beispielen zeigen, wie unter verschiedenen äusseren Bedingungen die lebende Haut gleich viel Wasser durch Verdunstung verlieren kann, wenn nur die verschiedenen Faktoren in ihrer Wirkung sich gegenseitig compensiren.

Tabelle IX.

| Versuch. | Wasserabgabe vom Arme. | Temperatur. | Relative Feuchtigkeit. | Ventilationsgrösse. |
|---|---|---|---|---|
| 1. | 17.6220 | 18.9 | 35 | 3379.0 |
| 2. | 17.8194 | 16.6 | 33 | 8704.7 |
| 3. | 13.6830 | 17.2 | 50 | 6304.7 |
| 4. | 14.9943 | 18.0 | 36 | 4157.7 |

Versuch 1) und 2) wurden bei gleicher relativer Feuchtigkeit der Zimmerluft angestellt, dagegen waren Temperatur und Ventilation ungleich: die höhere Temperatur bei 1) begünstigte die Wasserverdunstung, und man hätte also ein bedeutend höheres Resultat erhalten müssen, als in Versuch 2), wenn nicht die grössere Ventilation bei letzterem ausgleichend gewirkt hätte. Aehnliche Verhältnisse bieten Versuch 3) und 4) dar.

---

Ich gehe jetzt über zur Schilderung der am bekleideten Arme angestellten Versuche. Die Bekleidung bestund in zwei Aermeln, die den ganzen Arm von der Handwurzel bis zur Schul-

ter bedeckten. Der eine Aermel, aus Leinwand gefertigt, lag unmittelbar auf der Haut, — der andere, von Flanell, kam nach aussen zu liegen. Die Aermel waren weit, und gestatteten die Gegenwart einer bedeutenden Luftschicht zwischen sich und der Haut, — somit waren die natürlichen Verhältnisse der Bekleidung hergestellt. Die Aermel wurden jedesmal vor und nach dem Versuche gewogen; zeigte sich eine Gewichtsabnahme derselben, so musste das Defizit von der Menge des im Ganzen abgegebenen Wassers abgezogen werden; umgekehrt wurde, im Falle die Aermel an Gewicht zugenommen hatten, das Plus der im Ganzen abgegebenen Wassermenge zugezählt. Uebrigens betrugen die Schwankungen im Gewichte der Aermel höchstens 0.6 Gramm.

Tabelle X.

Wasserverdunstung vom bekleideten Arme nach der Menge des in den einzelnen Versuchen abgegebenen Wassers geordnet.

| Versuch. | Wasserabgabe vom Arme. | Temperatur. | Relative Feuchtigkeit. | Ventilationsgrösse. |
|---|---|---|---|---|
| 1. | 2.1029 | 17.7 | 84 | 6483.0 |
| 2. | 4.2869 | 19.1 | 62 | 1529.3 |
| 3. | 10.4785 | 19.9 | 62 | 3335.6 |
| 4. | 18.5748 | 17.8 | 32 | 2723.8 |
| 5. | 19.5410 | 17.0 | 39 | 3426.1 |
| 6. | 29.8306 | 17.5 | 44 | 5479.3 |
| 7. | 35.1455 | 17.6 | 31 | 8253.0 |
| 8. | 37.3906 | 20.1 | 50 | 6852.1 |
| 9. | 55.5085 | 16.3 | 16 | 5824.2 |
| 10. | 81.4784 | 16.6 | 17 | 8593.5 |

Diese Tabelle gestattet noch keinen direkten Vergleich der Wasserverdunstung vom bekleideten Arme mit derjenigen vom nackten Arme. Man sieht jedoch, dass auch beim bekleideten Arme die Schwankungen in der Wasserabgabe sehr gross und von den äussern Einflüssen in ähnlicher Weise abhängig sind, wie beim nackten Arme. Man erkennt leicht, dass der Feuchtigkeitsgrad der Zimmerluft auch bei diesen Versuchen der wirksamste Faktor war, denn mit wenigen Ausnahmen entspricht einer Zunahme in der Wasserverdunstung eine Abnahme der relativen Feuchtigkeit; der Einfluss der Temperatur und der

Ventilation wirkt jedoch compensirend, gerade wie beim nackten Arme. — Dass gleichen äusseren Bedingungen auch hier eine gleiche Grösse der Wasserverdunstung entspricht, geht aus folgendem Beispiele hervor:

Tabelle XI.

| Wasserabgabe vom Arme. | Temperatur. | Relative Feuchtigkeit. | Ventilationsgrösse. |
|---|---|---|---|
| 18.5748 | 17.8 | 32 | 2723.8 |
| 19.5410 | 17.0 | 39 | 3426.1 |

Den Einfluss der einzelnen Faktoren werden wir in gleicher Weise prüfen, wie wir es bei den Versuchen am nackten Arme thaten. Sehr scharf springt die Wirkung des verschiedenen Wassergehaltes der Zimmerluft in die Augen, wie aus folgenden Reihen hervorgeht:

Tabelle XII.

Wasserverdunstung bei ungleicher relativer Feuchtigkeit der Zimmerluft — ceteris paribus.

| Versuch. | Wasserabgabe vom Arme. | Temperatur. | Ventilationsgrösse. | Relative Feuchtigkeit. | Plus der Wasserabgabe auf je 1 % rel. Feuchtigkeit weniger. |
|---|---|---|---|---|---|
| 1. | 2.1029 | 17.7 | 6483.0 | 84 | 0.691 Gramm |
| 2. | 29.8306 | 17.5 | 5479.3 | 44 | 0.917 " |
| 3. | 55.5085 | 16.3 | 5824.2 | 16 | |
| 4. | 35.1455 | 17.6 | 8258.0 | 31 | 3.309 " |
| 5. | 81.4784 | 16.6 | 8593.5 | 17 | |

Ich bemerke zu dieser Tabelle, dass Versuch 1) mit künstlich feucht gemachter, — Versuch 3) und 5) mit künstlich getrockneter Luft angestellt wurden. Diese extremen Fälle machen den Einfluss des Wassergehaltes der Luft auf den bekleideten Arm sehr deutlich. Die Zunahme der Wasserverdunstung mit der abnehmenden Feuchtigkeit der Zimmerluft ist auch hier, wie beim nackten Arme, nicht proportional, sondern progressiv: je entfernter von ihrem Sättigungsgrade die Luft ist, desto mehr Wasserverdunstung kommt auf jedes Prozent Abnahme in der relativen Feuchtigkeit.

Der Einfluss der Temperatur auf die Wasserverdunstung vom bekleideten Arme lässt sich aus dem vorhandenen Material nur an einem einzigen Beispiel zeigen, und auch dieses ist nicht rein genug, da weder die relative Feuchtigkeit, noch die Ventilationsgrösse in beiden Versuchen ganz die nämlichen sind. Der hiedurch bedingte Fehler fällt aber nicht in eine und dieselbe Richtung für beide Faktoren, so dass man eine ungefähre Compensation beider Fehlerquellen annehmen kann.

Tabelle XIII.

Wasserverdunstung vom bekleideten Arme bei ungleicher Temperatur — ceteris paribus.

| Wasserabgabe vom Arme. | Relative Feuchtigkeit. | Ventilationsgrösse. | Temperatur. | Plus der Wasserabgabe auf je 1° Cels. Temperaturzunahme. |
|---|---|---|---|---|
| 29.8306 | 44 | 5479.3 | 17.5 | 2.908 Gramm |
| 37.3906 | 50 | 6852.1 | 20.1 | |

Einer weiteren Erklärung bedarf die Reihe nicht.

Der Einfluss der Luftbewegung auf die Verdunstung lässt sich, wie die folgende Tabelle zeigt, auch am bekleideten Arme sehr gut nachweisen.

Tabelle XIV.

Wasserverdunstung bei ungleicher Ventilation — ceteris paribus.

| Versuch. | Wasserabgabe vom Arm. | Temperatur. | Relative Feuchtigkeit. | Ventilationsgrösse. | Plus der Wasserabgabe auf je 1000 Lit. Zunahme in der Ventilation. |
|---|---|---|---|---|---|
| 1. | 18.5748 | 17.8 | 32 | 2723.8 | 3.000 Gramm |
| 2. | 35.1455 | 17.6 | 31 | 8253.0 | |
| 3. | 4.2869 | 19.1 | 62 | 1529.3 | 3.428 |
| 4. | 10.4785 | 19.9 | 62 | 3335.6 | |
| 5. | 55.5085 | 16.3 | 16 | 5824.2 | .378 „ |
| 6. | 81.4784 | 16.6 | 17 | 8593.5 | |

Auch hier lässt sich keine Proportionalität zwischen der Zunahme der Wasserverdunstung und der Verstärkung der Ventilation erkennen; offenbar richtet sich die Grösse der Zunahme der Verdunstung nicht nur nach der Raschheit der Luftbewegung, sondern ausserdem noch nach

der gegebenen Temperatur und nach dem Feuchtigkeitsgrade der Luft: geringer Wassergehalt und hohe Temperatur der umgebenden Luft scheinen die Zunahme zu verstärken.

Wir kommen nun zur Vergleichung der Grösse der Wasserverdunstung beim nackten und beim bekleideten Arme. Hiebei müssen Versuche einander gegenübergestellt werden, die, mit Ausnahme der Bekleidung, unter möglichst gleichen Bedingungen angestellt sind. Dennoch muss man bei dieser Vergleichung kein unter allen Umständen gleichbleibendes, constantes Verhältniss zwischen der Wasserverdunstung vom nackten und vom bekleideten Arme erwarten, da es bei solchen Experimenten unmöglich ist, alle äuseren und inneren Bedingungen der Wasserverdunstung vom lebenden Körper vollkommen gleich zu gestalten. Man muss sich also darauf beschränken mit dem gegebenen Material die Frage zu beantworten, ob im Allgemeinen die Kleidung die Wasserverdunstung von der Haut begünstige oder hemme, und ob der Ausschlag in der einen oder andern Richtung bedeutend sei. Die folgende Tabelle zeigt, dass das Material hinreicht, diese Frage zu beantworten.

Tabelle XV.

Wasserverdunstung beim nackten und bekleideten Arme — ceteris paribus.

| Versuch. | Wasserabgabe vom Arme. | Temperatur. | Relative Feuchtigkeit. | Ventilationsgrösse. | Differenz zu Gunsten d. bekleideten Armes in %. |
|---|---|---|---|---|---|
| 1. nackt | 4.2563 | 18.7 | 56 | 1418.3 | + 0.72 |
| 2. bekleidet | 4.2869 | 19.1 | 62 | 1529.3 | |
| 3. nackt[1] | 11.4444 | 19.9 | 62 | 3689.0 | — 8.44 |
| 4. bekleidet[2] | 10.4785 | 19.9 | 62 | 3335.6 | |
| 5. nackt | 14.9943 | 18.0 | 36 | 4157.7 | + 23.88 |
| 6. bekleidet | 18.5748 | 17.8 | 32 | 2723.6 | |
| 7. nackt[3] | 34.2453 | 20.3 | 47 | 6360.8 | + 9.18 |
| 8. bekleidet[4] | 37.3906 | 20.1 | 50 | 6852.1 | |
| 9. nackt | 47.7380 | 16.8 | 15 | 5113.7 | + 16.28 |
| 10. bekleidet | 55.5085 | 16.3 | 16 | 5824.2 | |
| | | | | Im Durchschnitt | + 8.32 % |

1) Nach dem Mittagessen. — 2) Morgens. — 3) Nach dem Mittagessen. — 4) Morgens. —

Die Tabelle gestattet den Schluss, dass im Allgemeinen durch die Kleidung die Wasserverdunstung von der Oberfläche des Körpers nicht gehemmt, sondern eher etwas begünstigt wird, dass aber die Vermehrung der Verdunstung keine bedeutende ist. — Dieses Resultat findet seine Erklärung in folgender Ueberlegung: durch das Bedecken des Körpers mit Kleidungsstoffen wird zunächst über der Haut eine Luftschicht geschaffen, die für die Wasserverdunstung vom Körper andere Bedingungen herstellt, als sie bei mangelnder Kleidung existiren. Die Temperatur dieser, unmittelbar die Haut berührenden, Luftschicht erhebt sich über die Temperatur der umgebenden Luft, wodurch sekundär jedenfalls auch die Temperatur der Haut selbst etwas gesteigert wird. Selbstverständlich sind diese Umstände günstig für die Wasserabgabe, und man müsste in Folge dessen eine starke Zunahme der Verdunstung bei der Bekleidung erwarten, wenn nicht durch die Kleidung auch andere Faktoren eingeführt würden, welche hemmend auf die Perspiration einwirken. Zu den letzteren gehört vornehmlich die Verminderung der in der Zeiteinheit mit der Haut in unmittelbare Berührung kommenden Luftmenge: wir wissen durch Pettenkofer, dass von einer ruhenden Luftschicht zwischen unserm Körper und der ihn bedeckenden Kleidung nicht die Rede sein kann, sondern dass wir, auch wenn wir bekleidet sind, fortwährend von einem Luftstrom umspült werden, der im Allgemeinen eine am Körper aufsteigende Richtung hat; jedenfalls aber wird die Stärke der Luftbewegung durch die Kleider bedeutend modificirt, und es muss in Folge dessen die mit dem Körper in der Zeiteinheit in Berührung kommende Luftmenge reduzirt werden. Die unmittelbare Folge hievon ist eine Verringerung der Verdunstung von der Haut. Ausserdem wird die Luft zwischen Haut und Kleidung ihrer langsameren Bewegung halber leichter mit Wasserdampf gesättigt, als eine schnell über den nackten Körper hinstreichende Luft; auch dieser Umstand muss die Wasserverdunstung von der Haut hemmen. Wir sehen also, dass durch die Kleidung eine Reihe von Faktoren eingeführt wird, die theils der Wasserverdunstung vom Körper günstig sind, theils hemmend auf dieselbe einwirken. Theoretisch

nun gibt es kein Mittel, zu entscheiden, ob die die Verdunstung begünstigenden, oder die dieselbe hemmenden Umstände die Oberhand gewinnen werden; das Experiment zeigt, dass in der Regel das erstere der Fall ist. — Wir halten diesen Umstand für äusserst wichtig, denn es würde eine Kleidung, welche die Wasserverdunstung von der Oberfläche unseres Körpers hemmt, durch Störung der Wärmeökonomie uns in erster Linie lästig, aber im Weiteren auch der Gesundheit direkt schädlich sein.

Es wäre interessant, die Rolle der Kleidung in Beziehung auf die Wasserverdunstung vom Körper weiter zu verfolgen; namentlich ist es wünschenswerth zu wissen, ob durch die Kleidung der uns schon bekannte Einfluss einer Steigerung der Temperatur, des Feuchtigkeitsgrades der Luft und der Ventilation in irgend einer Weise modificirt wird. Ich gestehe ein, dass das vorhandene Material durchaus nicht genügt, diese Frage zu entscheiden, — es wäre hiezu noch eine grosse Reihe von Versuchen unter den verschiedensten Umständen nöthig. Die Versuche müssten aus dem Grunde so zahlreich sein, weil man bei Anordnung derselben niemals alle äusseren Bedingungen nach Belieben feststellen und constant erhalten kann. Dies gilt namentlich vom Feuchtigkeitsgrade der Luft, in geringerem Maasse auch von der Temperatur. Um also einige, zur Vergleichung brauchbare Versuche zu haben, muss eine grosse Reihe von Experimenten zur Disposition stehen. Zur Entscheidung der oben betonten Frage genügt es nicht, einen mittleren Werth für den Einfluss der Steigerung von Temperatur, Wassergehalt der Luft und Ventilation beim nackten Körper zu suchen, und denselben zu vergleichen mit einem mittleren Werth des Einflusses der Steigerung der nämlichen Faktoren beim bekleideten Arme; wir haben uns ja überzeugt, dass Steigerung der Temperatur oder des Wassergehaltes der Luft oder der Ventilation um eine bestimmte Grösse nicht eine Zunahme der Wasserverdunstung von constantem Werth zur Folge hat, sondern dass der Grad des Einflusses, welchen die Steigerung eines der genannten Faktoren ausübt, immer von der absoluten Grösse des betreffenden Faktors selbst und auch von der Grösse der übrigen Faktoren abhängig ist. So wissen wir z. B., dass die Steigerung der Wasserverdunst-

ung bei zunehmender Trockenheit der Luft der Zunahme der Lufttrockenheit nicht proportional ist, sondern sich progressiv zu derselben verhält, — wir wissen, dass bei grösserer Feuchtigkeit der Aussenluft der Einfluss einer gewissen Temperatursteigerung auf die Wasserverdunstung geringer ist, als bei bedeutender Trockenheit der Luft u. s. w. Hieraus folgt, dass die Frage nach einer allfälligen Modifikation des Einflusses einer Veränderung der äusseren Faktoren auf die Wasserverdunstung durch die Kleidung nur durch Versuche entschieden werden kann, bei denen alle anderen Bedingungen möglichst gleich sind. — Um wenigstens einen Anhaltspunkt über die Richtung zu bekommen, in der mit Wahrscheinlichkeit diese Frage entschieden werden wird, will ich aus dem mir zu Gebote stehenden Material diejenigen Versuche am nackten und bekleideten Arme zusammenstellen, die den soeben ausgesprochenen Forderungen am meisten genügen. Ihre Zahl ist sehr gering.

Tabelle XVI.

Einfluss einer gleich grossen Temperatursteigerung auf die Wasserverdunstung vom nackten und vom bekleideten Arme — ceteris paribus.

| | Wasserabgabe vom Arme. | Relative Feuchtigkeit. | Ventilationsgrösse. | Temperatur. | Plus der Wasserabgabe auf je 1° Temperaturzunahme. |
|---|---|---|---|---|---|
| Arm nackt | 1) 13.6830 | 50 | 6304.7 | 17.2 | 6.633 Gramm. |
| | 2) 34.2453 | 47 | 6360.8 | 20.3 | |
| Arm bekleidet | 3) 29.8306 | 44 | 5479.3 | 17.5 | 2.908 „ |
| | 4) 37.3906 | 50 | 6852.1 | 20.1 | |

In diesen 4 Versuchen sind relative Feuchtigkeit und Ventilationsgrösse annähernd gleich, — ebenso die Temperatur in 1) und 3), und die Zunahme derselben in 2) und 4). Die Zunahme der Wasserverdunstung jedoch beim nackten und bekleideten Arme ist eine sehr verschiedene: sie beträgt beim bekleideten Arme nicht einmal die Hälfte der Zunahme beim nackten Arme. Somit würde also die Bekleidung den Einfluss der Temperatursteigerung auf die Wasserverdunstung vom Körper bedeutend modificiren. Vom theoretischen Standpunkte aus ist dieses Resultat des Experimentes sehr begreiflich, denn die Temperatur der unmittelbar dem Körper anliegenden Luftschicht, die doch für

die Verdunstung maassgebend ist, wird durch eine gewisse Steigerung in der Temperatur der Zimmerluft beim nackten Körper relativ stärker modificirt, als beim bekleideten Organismus, da sie im letzteren Falle schon durch die Bekleidung weit über Zimmertemperatur erhöht ist.

Tabelle XVII.

Einfluss einer gleichen Zunahme der Lufttrockenheit auf die Wasserverdunstung beim nackten und bekleideten Arm.

| | Wasserabgabe vom Arme. | Temperatur. | Ventilationsgrösse. | Relative Feuchtigkeit. | Plus der Verdunstung auf je 1 % rel. Feuchtigkeit weniger. |
|---|---|---|---|---|---|
| Arm nackt | 1) 18.2334 | 17.5 | 5967.4 | 43 | 1.054 Gramm. |
| | 2) 47.7380 | 16.8 | 5113.7 | 15 | |
| Arm bekleidet | 3) 29.8306 | 17.5 | 5479.3 | 44 | 0.917 „ |
| | 4) 55.5085 | 16.3 | 5824.2 | 16 | |

In diesem Beispiele sind Temperatur und Ventilation bei allen 4 Versuchen annähernd gleich, ebenso die relative Feuchtigkeit in Versuch 1) und 3), und ihre Abnahme in 2) und 4). Es zeigt sich dabei, dass das Plus der Wasserabgabe, das durch die Abnahme der relativen Luftfeuchtigkeit um je 1% bedingt wird, beim nackten und bekleideten Arme ungefähr gleich ist, immerhin aber noch zu Gunsten des nackten Armes ausfällt. Dieser, wenn auch nicht bedeutende, modificirende Einfluss der Kleidung auf die Wirkung einer trockeneren Luft ist theoretisch vollkommen verständlich: beim nackten Körper kommt die trockenere Luft unmittelbar mit der Haut in Berührung, und es sind somit äusserst günstige Bedingungen für die Wasserabgabe vorhanden, während die Kleidung eine solche direkte Berührung der trockeneren Luft mit dem Körper hindert und unter allen Umständen die Existenz einer feuchteren Luftschicht zwischen sich und der Haut bedingt.

Tabelle XVIII.

Einfluss einer Zunahme in der Ventilation auf die Wasserverdunstung beim nackten und bekleideten Arme.

| | Wasserabgabe vom Arme. | Temperatur. | Relative Feuchtigkeit. | Ventilationsgrösse | Plus der Verdunstung auf je 1000 Liter in der Ventilation mehr. |
|---|---|---|---|---|---|
| Arm nackt | 1) 18.2334 | 17.5 | 43 | 5967.4 | 3.904 Gramm. |
| | 2) 29.8089 | 17.7 | 41 | 8932.6 | |
| Arm bekleidet | 3) 18.5748 | 17.8 | 32 | 2723.8 | 2.997 „ |
| | 4) 35.1455 | 17.6 | 31 | 8253.0 | |

In diesem Beispiele sind die Temperaturen in allen 4 Versuchen ganz gleich, die relative Feuchtigkeit ist annähernd gleich. Es zeigt sich dabei ein erheblicher Unterschied im Einflusse der vermehrten Luftbewegung auf die Verdunstung vom nackten und vom bekleideten Arme: beim letzteren ist das auf eine Zunahme in der Ventilation von 1000 Liter fallende Plus der Wasserabgabe mehr als um $1/4$ geringer, als am nackten Arme. Diese Thatsache bedarf keiner weiteren Erklärung: es ist begreiflich, dass die Kleidung modificirend auf den Einfluss der Luftbewegung einwirken muss, da ja, wie wir früher erwähnten, durch die Kleidung die Schnelligkeit des Luftstromes bedeutend gehemmt wird und somit die Ventilation zwischen Haut und Kleidung viel geringer ist, als auf der Oberfläche der unbedeckten Haut.

Wir sehen, dass die Tabellen XVI, XVII und XVIII in unverkennbarer Weise dazu drängen, einen modificirendeu Einfluss der Kleidung in Bezug auf die Wirkung der äusseren Bedingungen auf die Wasserverdunstung von der Oberfläche des Körpers anzunehmen. Diese Erfahrung verträgt sich ganz gut mit dem früher festgestellten Satze, dass im Durchschnitt, bei gleichen äussern Bedingungen, die Kleidung die Verdunstung etwas begünstigt; dies letztere kann gar wohl der Fall sein, und dennoch kann eine Steigerung der Temperatur, eine Zunahme der Lufttrockenheit oder der Ventilationsgrösse, wenigstens vorübergehend, am bekleideten Körper eine geringere Zunahme der Wasserverdunstung hervorrufen, als am nackten Organismus.

Ich habe noch einen Versuch zu erwähnen, den ich anstellte, um den Einfluss der Aufnahme einer grösseren Menge heisser Flüssigkeit in das Gefässsystem auf die Wasserverdunstung von der Haut zu studiren. Zu diesem Behufe wurden zwei Parallelversuche unter möglichst gleichen äusseren Bedingungen gemacht. Unmittelbar vor Beginn des zweiten Versuches trank ich in kurzen Zwischenräumen etwa 600 Kubikctm. heissen Thee; dazu kamen im Laufe der ersten Versuchsstunde noch 400 Kubikctm. des heissen Getränkes. Harnentleerung erfolgte am Ende der ersten Versuchsstunde und noch einmal gegen Ende des Versuchs. Der Arm fühlte sich

beim Beginn des Versuches etwas feuchter an als gewöhnlich, ohne dass jedoch eine Spur von sichtbarem Schweiss vorhanden gewesen wäre. Folgendes sind die Resultate dieser Versuche:

### Tabelle XIX.

**Einfluss der Aufnahme heissen Getränkes auf die unmerkliche Wasserverdunstung von der Haut.**

| | Wasserabgabe vom Arme. | Temperatur. | Relative Feuchtigkeit. | Ventilationsgrösse. | Differenz in der Verdunstung. |
|---|---|---|---|---|---|
| 1) Ohne Thee . . | **34.4870** | 22.8 | 33 | 6084.7 | |
| 2) Thee getrunken | **56.1680** | 24.0 | 34 | 6680.3 | + 62.8 % |

Der Versuch zeigt, dass die stärkere Füllung des Gefässsystems in Folge von Aufnahme einer grösseren Menge heissen Getränkes und der dadurch vorübergehend gesteigerte Blutdruck die unmerkliche Wasserverdunstung von der Haut des lebenden Körpers wesentlich begünstigen. Wir erinnern hier daran, dass weder bei den Versuchen mit kleineren Hautstücken, noch bei den Experimenten mit den ganzen Armen ein Einfluss des erhöhten Druckes auf die Wasserverdunstung von der Oberfläche der todten Haut constatirt werden konnte. Später werden wir von diesen Thatsachen Gebrauch machen.

Schliesslich habe ich noch eines Versuches zu gedenken, der in der Absicht unternommen wurde den Einfluss der Arbeit auf die perspiratio insensibilis zu prüfen. Die Arbeit bestand in andauernd wiederholten Bewegungen des Unterarmes und der Hand, und ausserdem — in Zusammenquetschen einer in Ringform zusammengelegten und der quetschenden Hand einen bedeutenden Widerstand entgegensetzenden Uhrfeder. Die Haut der Hand fühlte sich im Laufe dieses Versuches bisweilen etwas feuchter an, als gewöhnlich, aber ohne dass die geringste Spur sichtbaren Schweisses vorhanden war. — Das Resultat dieses Experimentes, verglichen mit einem unter möglichst gleichen übrigen Bedingungen angestellten Versuche ohne Arbeit, ist folgendes:

## Tabelle XX.

**Einfluss der Arbeit auf die Wasserverdunstung von der Haut.**

| | Wasserabgabe vom Arme. | Temperatur. | Relative Feuchtigkeit. | Ventilationsgrösse. | Differenz in der Verdunstung. |
|---|---|---|---|---|---|
| 1) Ruhe . . . . | 19.5514 | 20.1 | 48 | 3195.4 | |
| 2) Arbeit . . . . | 23.6623 | 20.9 | 49 | 4137.6 | + 21.03 % |

Wenn auch die etwas stärkere Ventilation im zweiten Versuche an und für sich eine leichte Vermehrung der Wasserverdunstung bewirken mussten, so ist die faktisch beobachtete bedeutende Steigerung der Perspiration doch nur zu einem geringen Theile diesem Umstande zuzuschreiben, und kann man wohl mit Recht annehmen, dass die Arbeit die Wasserverdunstung von der Hautoberfläche, auch bei Abwesenheit von Schweiss, nicht unerheblich vermehrt.

### C. Schlussfolgerungen.

Krause hat, gestützt auf die Resultate seiner Untersuchungen, über die Wasserverdunstung von der todten Haut, folgende zwei Sätze aufgestellt [1]):

1) „Bei dem geringeren und mittleren Stande der Hautausdünstung ohne einen, dem blossen oder schwachbewaffneten Auge sichtbaren Schweisserguss, erfolgt dieselbe grösstentheils durch Verdunstung von der Oberfläche der Lederhaut durch das Gewebe der Epidermis hindurch, und nur zu einem geringen Theile, höchstens zu zwei Neuntheilen der ganzen Hautausdünstung, — durch Verdunstung des die Mündungen der Schweissdrüsen ausfüllenden Schweisses;" und 2) „der Schweiss ist lediglich ein Sekret der Schweissdrüsen, aus welchen er in sehr variabler Menge hervorquellen kann. . . ."

Die Experimente, auf welche Krause seine Aussprüche basirte, sind seither nicht wiederholt worden [2]), und es darf uns desshalb nicht wundern, wenn die von Krause geäusserte Anschauung

1) Loco cit. pag. 165.

2) Mit Ausnahme einiger Versuche, die Reinhard (Zeitschrift für Biologie, V. pag. 51) in dieser Richtung anstellte.

über die Quelle der unsichtbaren Wasserverdunstung von der Haut von den späteren Physiologen ziemlich allgemein angenommen wurde und auch heutzutage noch Geltung hat.

Donders[1]) sagt hierüber: „Aller Schweiss, der sich tropfenförmig auf der Haut ansammelt, stammt aus den Schweissdrüsen. An der unsichtbaren Hautausdünstung nehmen dieselben unter gewöhnlichen Umständen einen geringen Antheil“; ferner[2]): „das Wasser, welches durch die Haut austritt, wird sicherlich nur zum kleinen Theile durch die Schweissdrüsen abgesondert, die nur erst bei körperlicher Anstrengung und bei hoher Temperatur in lebhafte Thätigkeit gerathen. Unter gewöhnlichen Umständen verdunstet also das Wasser grösstentheils durch die Oberhaut.“ — Der zweite Satz Krause's wird durch Donders etwas modificirt, indem Letzterer auch die Produkte der unsichtbaren Hautausdünstung (d. h. nach ihm — der Verdunstung der Epidermis) an der Schweissbildung Theil nehmen lässt. Er sagt (pag. 431): „eine scharfe Trennung der sichtbaren und der unsichtbaren Ausscheidung ist nicht möglich. Sondern die Schweissdrüsen nur in einem mässigen Grade ab, so werden sich, wenn die Luft trocken ist, keine Schweisströpfchen auf der Haut zeigen, und das Produkt der Schweissdrüsen wird dann in der unsichtbaren Ausdünstung mit enthalten sein; umgekehrt werden aber auch Bestandtheile der unsichtbaren Ausdünstung in den Schweiss übergehen können.“ — Ranke[3]) scheint allerdings die von Krause geäusserten Ansichten nicht zu theilen. Er sagt: „Die Organe der Hautathmung sind zweifelsohne die Schweissdrüsen mit ihrem reichen Kapillarnetze, zu dem die Luft den Zutritt verhältnissmässig leicht finden kann. Die mit Epidermis bedeckte Haut betheiligt sich gewiss nur sehr wenig, wenn überhaupt, an dem Gasverkehre.“ Es wird sich in der Folge zeigen, dass ich auf Grundlage meiner Versuche zu einer ähnlichen Anschauung kommen musste. Doch sei mir gestattet, zu erwähnen, dass Ranke sich bei der angeführten

1) Physiologie des Menschen, I. pag. 428.
2) Loco cit. pag. 433.
3) Grundzüge der Physiologie des Menschen, 1868 pag. 368.

Aeusserung auf keine Experimente stützen konnte, dass vielmehr die einzigen Experimente, die früher in dieser Richtung angestellt worden waren, die Anschauung Ranke's nicht rechtfertigen.

Auch die Autoren der neuesten Arbeiten über die Wasserverdunstung durch die Haut schliessen sich im Allgemeinen der Ansicht Krause's an, ohne jedoch auf experimentellem Wege die Richtigkeit derselben zu bekräftigen. Weyrich[1]) sagt: „Seitdem durch Krause auf dem Wege des Experimentes die Durchgängigkeit der Epidermis für Gase dargethan ist, findet keine Schwierigkeit mehr statt die Hautausdünstung auch ohne Zuthun der Schweissdrüsen zu erklären. Letzteren kann a priori nur in ähnlicher Weise ein Antheil an der Perspiration zugestanden werden, wie den Haar- und Talgfollikeln, ja, in Anbetracht des möglicherweise grösseren Wassergehaltes ihres Sekretes, selbst ein grösserer Antheil als jenen." Im Uebrigen beschäftigt sich Weyrich mehr mit der Frage, ob der Schweiss ein wirkliches Sekret der Schweissdrüsen sei, oder ob man denselben nur als ein Transsudationsprodukt betrachten müsse. Er entscheidet die Frage im letzterwähnten Sinne, betrachtet als einheitliche Quelle der gesammten wässrigen (der unmerklichen sowohl als der merklichen) Hautausscheidung das gesammte oberflächliche Kapillarnetz der Cutis, und ist der Ansicht, dass bei der Perspiration sowohl, als bei der Schweissbildung „die zartwandigen, von dichten Capillarnetzen reichlich umsponnenen und direkt nach Aussen mündenden Drüsen- und Follikelapparate sich mehr betheiligen, als die . . . . nur für gasförmige Körper durchgängige Epidermisdecke; nicht aber die Spiraldrüsen allein, sondern ebensogut, und vermöge ihrer oberflächlicheren Einbettung in das Derma noch leichter und erfolgreicher, die übrigen Drüsen- und Follikelapparate der Haut."

Reinhard[2]) hält das Resultat der Krause'schen Berechnung in Bezug auf den Antheil der Schweissdrüsen an der Perspiratio insensibilis für annähernd richtig. Als Quellen der Hautausdünstung nennt er „erstens die Drüsen der Haut, vorzüglich die Schweiss-

1) Loco cit. pag. 39.
2) Loco cit. pag. 49.

drüsen, die auch im scheinbaren Zustande der Ruhe sich nicht unthätig verhalten, — zweitens die wasserreichen Zellen der Epidermis, die in der Tiefe mit dem oberflächlichen Gefässnetze des Coriums in osmotischem Verkehre stehen und von dorther die nothwendigen Elemente für die Verdunstung erhalten . . . . Der flüssige Inhalt der Schweissdrüsen verwandelt sich, wenn die Absonderung nicht so reichlich geschieht, dass sie in der Form von Schweiss zu Tage tritt, unter dem Einflusse der Körpertemperatur in Dunst und geht als solcher in die Atmosphäre über." — Reinhard stellt sich aber nicht wie Krause und Donders vor, es bilde der Schweiss innerhalb der Ausführungsgänge der Schweissdrüsen eine Flüssigkeitssäule, von deren Oberfläche die Verdunstung erfolge, sondern er nimmt an, dass die freie Flüssigkeit von den imbibitionsfähigen Wandungszellen des Ganges ganz oder zum Theil aufgenommen werde, und dass nun die Verdunstung von diesen durchtränkten Zellen aus stattfinde. Somit schreibt Reinhard auch bei der Verdunstung von den Schweissdrüsen aus der Epidermis eine nicht unwesentliche Bedeutung zu, denn, wie bekannt, werden die Ausführungsgänge dieser Drüsen an der Mündung durch wirkliche Epidermiszellen begrenzt. Er lässt auch unter gewöhnlichen Umständen den Inhalt der Ausführungsgänge auf diese Weise bis an die Oberfläche der Epidermis gelangen, und sagt, der Schweiss durchtränke hiebei fortwährend das Gebiet der Epidermis rund um die Kanäle und Poren, wobei der flüssige Theil verdunste, während ein fixer Rückstand von Salzen sich nach und nach in der Epidermis, zunächst an ihrer Oberfläche, anhäufe. Wir werden diese Anschauung Reinhards später noch in den Kreis unserer Betrachtung ziehen.

Röhrig[1]), von dem die neueste experimentelle Arbeit über die Hautperspiration stammt, ist geneigt, den Schweissdrüsen eine bedeutendere Rolle bei der unmerklichen Wasserverdunstung von der Haut zuzuschreiben, als dies Krause that. Er stützt sich hiebei jedoch nur auf die Unsicherheit der Werthe, mit denen Krause seine Berechnung über den möglichen Antheil der Schweiss-

1) Loco cit. pag. 238.

drüsen an der Perspiration anstellte, und ausserdem — auf das Raisonnement, dass die Schweissdrüsen wegen der reichen, sie umspinnenden Kapillarnetze und der zarten Bedeckung ihrer Ausführungsgänge entschieden dem Gasverkehre günstiger seien „als die weniger blutreichen Cutispapillen und das Gewebe der sie bedeckenden, dichten, mehr hornartigen Lagen von Epidermisplatten, welche durch ihr dichtes Gefüge weit eher als eine Art Schutzvorrichtung gegen zu reichliche Verdunstung und gegen das Austrocknen der Körperoberfläche aufzufassen sein dürften.“ Experimentelle Beweise für seine Anschauung bringt Röhrig jedoch nicht bei. Am Schlusse seiner Arbeit äussert er noch die Ansicht, dass, ob nun die Betheiligung der Schweissdrüsen an der gasigen Perspiration grösser oder geringer sei, man jedenfalls daran festhalten müsse, „dass durchaus nicht von einer physiologischen Aeusserung gewisser Lebenskräfte jener Drüsen dabei die Rede sein kann, sondern dass der Vorgang einfach nach den bekannten physikalischen Gesetzen der Diffusion erfolgt.“ In dieser Negation einer spezifischen Thätigkeit der Drüsenzellen bei der Wasserabgabe durch die Haut nähert sich Röhrig der schon von Weyrich vertheidigten Auffassung; — wir werden auch auf diesen Punkt später noch zurückkommen.

Um eine Kritik über die angeführten Ansichten der verschiedenen Autoren in Betreff des Antheils der Schweissdrüsen einerseits und der Epidermis andrerseits an der unmerklichen Wasserverdunstung durch die Haut zu erlangen, müssen wir der Krause-schen Berechnung und den ihr zu Grunde liegenden Versuchen eine eingehendere Betrachtung widmen.

Auf mikroskopische Untersuchungen zahlreicher Hautpartieen gestützt, berechnet Krause die Anzahl der Ausführungsgänge aller Schweissdrüsen des Körpers auf 2,270,000. Entsprechend der Weite der Ausführungsgänge etwas unterhalb ihrer Mündung an der Oberfläche der Epidermis betrachtet Krause die Oberfläche der Schweisssäule im Ausführungsgange als eine kreisförmige Fläche von $1/_{56}$ Pariser Linie Durchmesser. Diese Annahme ergibt ihm für die oben genannte Zahl aller Ausführungsgänge zusammen eine Verdunstungsfläche von 7.896 Pariser Quadratzoll

= 57.12 □ Ctm. (1 Par. □ Zoll = 7.23 □ Ctm.). Um das Maass des von einer solchen Fläche binnen einer gegebenen Zeit verdunstenden Wassers, unter der Annahme, dass die in den Ausführungsgängen der Schweissdrüsen befindliche Flüssigkeit eine Temperatur von 35° C. besitze, zu finden, liess Krause Wasser von einer freien Oberfläche bei dieser Temperatur verdunsten. Das Maximum der Verdunstung, das er hiebei, wenn die Luft vollkommen trocken war, erhielt, betrug 0.1675 Gran binnen einer Minute, oder 241 Gran = 14.46 Grm. in 24 Stunden; das macht in 24 Stunden auf 1 □ Ctm. 2 Grm. Nach dieser Bestimmung würde daher die Verdunstung aus allen Schweissdrüsenmündungen an der Oberfläche des Körpers bei nicht schwitzender Haut unter den günstigsten Bedingungen in 24 Stunden höchstens 1904.5 Gran = 114 Grm. betragen. Da man nun, rechnet Krause, 600—700 Grm. als die durchschnittliche Grösse der Wasserperspiration durch die Haut beim Menschen annimmt, so zieht er aus seinen Beobachtungen den Schluss, dass die Schweissdrüsen ausserhalb der Zeit des merklichen Schwitzens nur zwei Neuntheile der gesammten Wasserperspiration liefern können. Diesen Satz suchte Krause noch dadurch zu bekräftigen, dass er auch an Leichnamen, wo doch die Absonderung der Schweissdrüsen unzweifelhaft aufgehört hat, einen erheblichen Wasserverlust nachwies, der nach der Ansicht Krause's nur der Verdunstung durch die Epidermis zugeschrieben werden konnte. Bei diesen Versuchen erhielt er folgende Resultate (da die Angaben Krause's in Pariser Maass gemacht sind, so setzen wir zur Erleichterung des Vergleichs die auf Metermaass berechneten Zahlen daneben):

| | Verdunstung auf 1 □ Zoll bei 12.5° in 24 Std. (in Granen). | Auf 1 □ Ctm. in Grm. |
|---|---|---|
| 1) In einer durch Schwefelsäure getrockneten Luft | 0.9105 | 0.0076 |
| 2) „ „ „ Chlorcalcium „ „ | 0.4374 | 0.0036 |
| 3) „ „ „ Schwefelsäure „ „ | 0.9048 | 0.0075 |

Rechnet man die Körperoberfläche mit Funke auf 2254 Pariser Quadratzoll oder 16.300 □ Ctm., so fand also Krause bei 12.5° für den ganzen Körper in 24 Stunden folgende Grössen der Wasserverdunstung:

Für 1) . . . 123 Grm.
„ 2) . . . 59 „
„ 3) . . . 122 „

Indem nun aber Krause die Verdunstung vom Leichnam aus den gewonnenen Zahlen nicht für eine Temperatur von 12.5°, sondern für eine solche von 35° berechnet, so erhält er folgende Grössen der Wasserabgabe von der ganzen Leiche:

Für 1) . . . 441 Grm.
„ 2) . . . 212 „
„ 3) . . . 439 „

Es ist jedoch leicht einzusehen, dass man diese Zahlen nicht mit den beim lebenden Körper erhaltenen Resultaten vergleichen darf: sie mussten in doppelter Beziehung zu hoch ausfallen, — erstens wegen der auf künstlichem Wege erreichten grossen Trockenheit der Luft, und zweitens wegen der bei der Berechnung angenommenen hohen Aussentemperatur von 35°, die wenigstens in unserm Klima unter gewöhnlichen Verhältnissen nicht vorkommt. Krause erwähnt auch ausdrücklich, dass er eine solche Vergleichung nicht für zulässig hält, und zieht aus den Resultaten dieser Versuche nur den Schluss, dass die Epidermis überhaupt Wasser in Dunstgestalt durchgehen lasse.

Nachdem wir so die Resultate der Krause'schen Versuche, insoweit dies uns für das Verständniss seiner Beweisführung nöthig schien, angeführt haben, wollen wir unsere eigenen Experimente kurz damit vergleichen und namentlich diejenigen Punkte betonen, die uns zwingen, die Ansicht Krause's über den Antheil der Schweissdrüsen an der Hautperspiration etwas zu modificiren.

Was zunächst die Verdunstung von der freien Wasseroberfläche betrifft, so fanden wir (siehe oben), dass bei 35° C. und einer relativen Feuchtigkeit von 27%, im Mittel aus zwei nahe übereinstimmenden Versuchen, von 1 □ Ctm. in 24 Stunden 1.238 Grm. Wasser verdunsten. Diese äusseren Bedingungen stehen jedenfalls den bei der Verdunstung aus den Ausführungsgängen der Schweissdrüsen stattfindenden Verhältnissen näher, als die von Krause angenommenen (35° C. und absolut trockene Luft). Wegen der

grösseren Luftfeuchtigkeit ist auch das von uns erhaltene Resultat geringer als dasjenige Krause's — 1.238 Grm. gegen 2.00 Grm. — Nehmen wir nun die von Krause gegebenen Zahlen über die ungefähre Menge der Schweissdrüsenausführungsgänge, die Weite derselben, und die quadratische Oberfläche der in ihnen angenommenen Flüssigkeitssäule als richtig an, und berechnen, wie viel bei 35⁰ und 27 % relativer Feuchtigkeit von einer Wasseroberfläche von 57.12 □ Ctm. verdunsten würde, so erhalten wir nur 70.7 Grm., also noch bedeutend weniger als Krause, und es könnte, wenn alle Voraussetzungen der Rechnung auch nur annähernd richtig sind, der Antheil der Schweissdrüsen an der Hauptperspiration nur ungefähr ein Neuntel betragen. — Nun ist aber eine sehr wichtige Voraussetzung in dieser ganzen Berechnung falsch. Geben wir nämlich auch Krause zu, dass die Weite der Ausführungsgänge aller Schweissdrüsen zusammen eine quadratische Oberfläche von 57.12 □ Ctm. darstelle, so ist es doch jedenfalls nicht gestattet, die durch die Schweissdrüsen gebotene Verdunstungsfläche mit dieser Zahl zu identificiren. Die Ausführungsgänge der Schweissdrüsen sind kapillare Röhren von sehr geringem Durchmesser. Schon wenn sie gläserne Wandungen besässen, müsste das obere Ende einer in ihnen befindlichen Flüssigkeitssäule einen sehr bedeutenden Meniscus bilden, wodurch die Oberfläche der Wassersäule selbst und damit auch die Verdunstungsfläche erheblich vergrössert wird. Dass überhaupt die Verdunstung in engeren Röhren rascher vor sich geht, als in weiteren, hat schon G. Magnus[1]) gezeigt. Ich erlaube mir hier die Resultate seiner in dieser Richtung vorgenommenen Experimente anzuführen:

1) Poggendorf's Annalen für Physik und Chemie, Band 26. Jahrgang 1832, pag. 463.

| Innerer Durchmesser der Röhren in Millimetern. | Wasserstand unter dem oberen Rande der Röhren zu Anfang des Versuchs (in Millimet.). | Abnahme des Wasserstandes in den ersten 10 Stunden. | zweiten 10 Stunden. | folgenden 14 Stunden. |
|---|---|---|---|---|
| 0.17 | 4.0 | 12.7 | 4.3 | 16.0 |
| | 4.1 | 12.0 | 4.4 | 15.5 |
| 0.42 | 4.0 | 12.1 | 4.9 | 15.0 |
| | 4.0 | 11.8 | 4.7 | 16.0 |
| 1.0 | 7.0 | 9.5 | 4.5 | 16.5 |
| | 3.5 | 11.5 | 4.5 | 13.5 |
| 3.0 | 4.0 | 10.0 | 4.5 | 13.5 |
| | 4.0 | 10.0 | 4.5 | 13.5 |
| 4.5 | 10.0 | 6.0 | 5.0 | 11.0 |
| | 11.0 | 2.0 | 4.8 | 11.0 |
| 13.0 | 15.0 | 4.0 | 3.5 | 9.0 |

„Diese Versuche zeigen, — sagt Magnus, — dass unter übrigens gleichen Umständen die Wasserstände in den Röhren von verschiedener Weite nicht um gleichviel abnehmen, sondern wider Erwarten in den engen Röhren mehr als in den weiten. Es geht daraus hervor, dass die Verdunstung nicht in geradem Verhältnisse zum Querschnitte der Röhren steht, sondern in engen Röhren schneller als in weiten vor sich geht. Der Grund dieser auffallenden Erscheinung scheint darin zu liegen, dass in engeren Röhren die Flüssigkeit sich, vermöge der kapillaren Attraktion des Glases, an diesem sehr stark in die Höhe zieht, und dadurch eine relativ grössere Oberfläche zur Verdunstung darbietet, als in weiten Röhren.“

Magnus fand also, dass in einer Capillarröhre von 0.17 Mm. Durchmesser die Verdunstung 2—3 mal rascher vor sich ging, als in einer Röhre von 13 Mm. Durchmesser. Dies zeigt uns, dass man aus der bei einer freien Wasseroberfläche von vielen □ Centimetern erhaltenen Verdunstungsgrösse durchaus keinen Schluss ziehen darf auf die Verdunstung in einem Schweissdrüsenausführungsgange, dessen Durchmesser noch viermal geringer ist, als derjenige der feinsten von Magnus angewendeten Kapillarröhre, da er nach Krause's Angaben nur 0.044 Millimeter ($^1/_{56}$ Linie) beträgt. — Wenn man also auch in den Drüsenausführungsgängen eine Flüssigkeitssäule als vorhanden annimmt, so muss die Verdunstung von

der Gesammtoberfläche aller Schweissdrüsen vielmal grösser sein, als die Verdunstung von einer einfachen, der Gesammtweite aller Ausführungsgänge in ihrer Grösse entsprechenden Wasseroberfläche. Wir kennen nun allerdings die Grösse des in diesen Gängen gebildeten Meniscus nicht und haben somit durchaus keinen Anhaltspunkt, die wirkliche Verdunstungsgrösse der Schweissdrüsen zu berechnen; jedenfalls aber geht aus dem Gesagten hervor, dass sie an der Hautperspiration einen viel grösseren Antheil haben müssen, als sich Krause vorstellte. Das Resultat dieser Ueberlegung fällt aber noch viel mehr zu Gunsten eines bedeutenden Antheils der genannten Drüsen an der unmerklichen Wasserausdünstung durch die Haut aus, wenn wir uns der von Reinhard aufgestellten und allerdings sehr wahrscheinlichen Annahme anschliessen, dass das Sekret der Schweissdrüsen keine eigentliche Flüssigkeitssäule in den Ausführungsgängen bilde, sondern dass die freie Flüssigkeit von den weichen, imbibitionsfähigen Auskleidungszellen der Kanäle wenigstens theilweise aufgenommen werde, so dass dann die Verdunstung hauptsächlich von diesen Zellen aus statt hat. In diesem Falle könnte natürlicherweise die Verdunstungsfläche nicht nur das 10 fache, sondern das 100 fache der von Krause angenommenen Fläche betragen.

Nachdem ich gezeigt habe, dass von den Schweissdrüsen eine bedeutend grössere Menge Wasser verdunsten kann, als Krause annahm, will ich noch den Beweis dafür leisten, dass die Hautoberfläche des lebenden Körpers, auch ohne zu schwitzen, viel mehr Wasser durch Verdunstung verlieren kann, als die todte Haut auch unter den allergünstigsten Bedingungen zu liefern im Stande ist. Gelingt dieser Beweis, so ist damit zugleich gezeigt, dass nach dem Tode die Thätigkeit eines besonderen Organes wegfällt, das einerseits beständig Wasser zu liefern, andrerseits die verdunstende Oberfläche in hohem Maasse zu vergrössern im Stande ist. Dies kann nicht die Epidermis selbst sein, da sie sich mit dem Tode nicht verändert und auch an ihrer innern Fläche mit Flüssigkeit in Berührung bleibt, wohl aber die drüsigen Organe der Haut und namentlich die Schweissdrüsen. Damit wäre dann auch positiv dargethan, dass wirklich diese Drüsen den grössten Theil der unmerklichen Haut-

ausdünstung liefern, und dass die letztere nicht ein einfach physikalischer, sondern ein physiologischer Vorgang ist, insofern sie vom Leben und von der Funktion gewisser Organe in hohem Grade abhängig ist. — Wir nehmen im Folgenden zu Gunsten der Krause'schen Theorie immer noch an, dass das von der todten Haut abgegebene Wasser, wenigstens grösstentheils, durch die Epidermiszellen selbst verdunstet sei, obgleich vielleicht nicht einmal diese Annahme richtig ist. In der folgenden Tabelle sind die theilweise berechneten, theilweise direkt beobachteten Verdunstungsmengen von der ganzen Oberfläche des todten Körpers unter verschiedenen Bedingungen zusammengestellt. Die aus den Beobachtungen an den kleinen Hautstücken berechneten Zahlen machen natürlich einen Anspruch nur auf höchst annähernde Richtigkeit. Bei den mit den Armen angestellten Versuchen sind die zwei Arme nach den Angaben Funke's als 1/5 der Gesammtoberfläche des Körpers angenommen. Berücksichtigt man aber, dass 1/3 der Oberarme mit Kautschuk umhüllt war, so beträgt die freie Oberfläche beider Arme nur noch 1/6 der Körperoberfläche.

## Tabelle XXI.

Grösse der Wasserverdunstung in 24 Stunden von der Hautoberfläche des todten Körpers (bei den Berechnungen ist die Körperoberfläche zu 16.3 0 □ Ctm. angenommen).

| Versuchsobject. | Art der Beobachtung. | Temperatur. | Relative Feuchtigkeit. | Ventilation in Litern. | Wasserverdunstung von der Körperoberfläche in 24 Stunden (in Grammen.) |
|---|---|---|---|---|---|
| Arme | Zimmer | 21.3 | 54 | 0 | 136.8 |
| „ | Keller | 13.8 | unbekannt | 0 | 41.2 |
| „ | Trockenschrank | 37.5 | 26 | 0 | 367.2 |
| „ | Resp.-Apparat | 19.8 | 54 | 19.400 | 122.4 |
| „ | „ | 20.6 | 54 | 70.500 | 100.8 |
| Ganzer Leichnam | Zimmer | 17.4 | 64 | 0 | 40.0 |
| „ | Resp.-Apparat | 18.0 | 67 | 751.263 | 71.0 |
| Kleine Hautstücke: | | | | | |
| Brust | Korridor | 2—13 | unbekannt | 0 | 44.0 |

| Versuchsobject. | Art der Beobachtung. | Temperatur. | Relative Feuchtigkeit. | Ventilation in Litern. | Wasserverdunstung von der Körperoberfläche in 24 Stunden (in Grammen.) |
|---|---|---|---|---|---|
| Brust | Brutofen | 20—24 | 25—30 | 0 | 271.0 |
| " | " | 24—28 | – | 0 | 375.0 |
| " | " | 30—36 | 25 | 0 | 610.0 |
| " | " | 36—39 | — | 0 | 675.0 |
| Fussoble | Zimmer | 10—12 | unbekannt | 0 | 228.0 |
| " | Brutofen | 24 | 25—30 | 0 | 967.0 |
| Epidermis | Zimmer | 9—14 | unbekannt | 0 | 75.0 |
| " | Brutofen | 22—24 | — | 0 | 275.0 |
| " | " | 24—28 | — | 0 | 378.0 |

Bei Betrachtung der an den Armen und am ganzen Leichnam gewonnenen Resultate, die eigentlich allein zur Vergleichung mit der Wasserverdunstung vom lebenden Körper tauglich sind, zeigt sich, dass bei einer Temperatur der umgebenden Luft von etwa 20°, und bei einem mittleren Feuchtigkeitsgrade derselben, die todte Haut höchstens $^1/_6$ — $^1/_5$ von dem Wasserdunst liefert, der unter denselben Umständen von der lebenden Haut abgegeben wird; ja selbst bei einer, der Körperwärme gleichen Temperatur der Aussenluft, und bei sehr grosser Trockenheit derselben, verliert der Leichnam nur etwas über die Hälfte des vom lebenden Organismus unter viel ungünstigeren äussern Umständen durch die Haut in Dunstform abgegebenen Wassers.

Die Versuche mit den kleinen Hautstücken mussten desshalb ein höheres Resultat geben, weil die innere Cutisfläche beständig mit Wasser in Berührung war; es darf uns desshalb nicht wundern, wenn die Berechnung ergibt, dass unter den allergünstigsten Umständen, — bei 36$^0$ Aussentemperatur und einer sehr trockenen Luft, — durch die todte Haut eine Wassermenge verdunstet, die ungefähr dem Minimum der unter gewöhnlichen Umständen in derselben Zeit von der lebenden Haut abgegebenen Menge gleich ist. Der Versuch mit der Fusssohlenhaut im Brutofen gibt ein extrem hohes Resultat; es würde sich hiebei auf 24 Stunden eine Wasserverdunstung von 967 Grm. vom ganzen Körper berechnen, wenn

man annehmen würde, dass die ganze Körperoberfläche mit einer Haut bedeckt wäre, deren Verdunstungsbedingungen so günstig wären, wie sie an der Fusssohlenhaut sind. Woher kommt nun diese bedeutende Wasserverdunstung von der mit einer so dicken Lage von Hornzellen bedeckten Fnsssohle? Die Epidermis dieses Körpertheiles kann unmöglich günstigere Bedingungen für die Wasserabgabe bieten, als die dünne Haut der Brust oder des Bauches; es drängt sich also von selbst die Annahme auf, es müsse wenigstens das Plus von Verdunstung, gegenüber der Haut anderer Körperstellen, auf Rechnung der Schweissdrüsen zu schieben sein, die ja bekanntlich, mit Ausnahme der vola manus, nirgends in so grosser Anzahl vorhanden sind, als an der Fusssohle. Dieser Erklärung sind auch die histologischen Verhältnisse günstig: es ist gewiss anzunehmen, dass die weichen Zellen, welche die Ausführungsgänge der Schweissdrüsen in der Cutis auskleiden, sich ebenso leicht mit Wasser imbibiren, wie die Zellen des rete Malpighii; während nun aber das von diesen letzteren Zellen aufgenommene Wasser in irgend einer Weise noch die verhornten Zellen der oberflächlichen Epidermisschichten durchdringen muss, um nach Aussen verdunsten zu können, steht der Verdunstung von der Innenfläche der Schweissdrüsenausführungsgänge aus weniger im Wege. Hiebei braucht man durchaus nicht anzunehmen, dass die Mündung der Gänge auf der Epidermis einen sichtbaren, offenen Kanal darstelle; auch wenn die Wände des Ganges scheinbar aufeinander liegen, wird doch das Hinderniss für die Wasserverdunstung geringer sein, als wenn das Wassergas die zahlreichen Schichten verhornter Epidermiszellen durchdringen muss. — Die Versuche über Wasserverdunstung von der blossen Epidermis, wobei sich zeigte, dass es für die Grösse der Verdunstung gleichgiltig ist, ob die Epidermis mit der Cutis verbunden ist oder nicht, beweisen durchaus nichts für einen erheblichen Antheil der Epidermiszellen selbst an der Wasserabgabe, denn in der von der Cutis getrennten Epidermis befinden sich einerseits die Haarbälge und Talgdrüsen, andrerseits die abgetrennten Ausführungsgänge der Schweissdrüsen, wodurch Gelegenheit genug zur Wasserverdunstung gegeben ist, auch ohne dass man nöthig hätte, der Epidermisdecke selbst irgend einen Antheil daran zuzu-

schreiben. Ueberhaupt erscheint es vor der Hand unmöglich, die Frage endgiltig zu entscheiden, ob die Epidermiszellen selbst an der Wasserverdunstung durch die Haut Theil nehmen. Weder die Versuche Krause's, noch meine eigenen Beobachtungen liefern den Beweis hiefür. Wir haben nur bewiesen, dass die todte Haut Wasser in Dunstform abgibt, dass diese Wasserverdunstung durch höhere Temperatur und Trockenheit der Luft begünstigt werden kann, — aber wir hatten kein Mittel an der Hand zu unterscheiden, ob dieser Wasserdampf die Haut nur durch die drüsigen Organe, oder auch durch die Epidermiszellen selbst verlässt, und, falls beides der Fall ist, — in welchem quantitativen Verhältniss die Wasserverdunstung von den drüsigen Organen zu derjenigen von den Epidermiszellen steht.

Während wir also von einer genauen Abgrenzung der Rolle, welche die Epidermiszellen einerseits und die drüsigen Hautorgane andererseits bei der unmerklichen Perspiration spielen, absehen müssen, deuten doch schon die Versuche mit der todten Haut darauf hin, dass der Antheil der drüsigen Organe, und namentlich der Schweissdrüsen, ein überwiegender und viel bedeutender ist, als Krause sich vorstellte.

Dass auch beim lebenden Körper die Rolle der Schweissdrüsen bei der Perspiration nicht so beschränkt sein muss, wie der genannte Forscher dachte, haben wir schon oben, gestützt auf die Versuche von Magnus, erwähnt; jetzt aber wollen wir, zur Bekräftigung unserer Anschauung, noch zeigen, dass der lebende Körper unter günstigen Umständen, — auch ohne zu schwitzen, — fünf- und zehnmal mehr Wasser durch die Perspiration verliert, als von der todten Haut, auch unter den allergünstigsten Bedingungen, abgegeben werden kann.

Zu diesem Behufe wollen wir in einer besonderen Tabelle aus der in einer Anzahl unserer Versuche am lebenden Arm gefundenen Perspirationsgrösse die Wassermenge berechnen, welche vom ganzen Körper unter denselben Umständen abgegeben würde. Da das obere Dritttheil des Oberarmes in allen unsern Versuchen sich ausserhalb des Kastens befand, so betrug die Hautoberfläche, deren Perspiration bestimmt wurde, nur $\frac{1}{11.5}$ der ganzen Körperoberfläche

(195 □ Zoll). Die durch den Versuch direkt gefundenen Zahlen wurden also mit 11.5 multiplizirt, und ausserdem die abgegebene Wassermenge von 3 Stunden 9 Minuten auf 24 Stunden berechnet. Ich wählte zu dieser Tabelle nur eine kleine Anzahl der Versuche aus, weil es durchaus keinen Zweck gehabt hätte, die Berechnung für alle Experimente durchzuführen.

## Tabelle XXII.

24 stündige Wasserverdunstung vom ganzen lebenden Körper berechnet aus der Wasserabgabe vom Arm.

| Versuch. | Temperatur. | Relative Feuchtigkeit. | Ventilationsgrösse in 24 Std. in Litern. | Wasserabgabe in 24 Std. in Grammen. | Besondere Bemerkungen. |
|---|---|---|---|---|---|
| 1. | 17.7 | 84 | 49.394 | 184.2 | Luft künstl. feucht gemacht. |
| 2. | 16.5 | 55 | 10.326 | 307.8 | |
| 3. | 18.7 | 56 | 10.806 | 373.3 | |
| 4. | 9.5 | 36 | 31.446 | 751.3 | |
| 5. | 19.9 | 62 | 25.414 | 917.7 | Arm bekleidet. |
| 6. | 16.6 | 33 | 61.030 | 1357.7 | |
| 7. | 20.1 | 48 | 24.346 | 1713.5 | |
| 8. | 18.9 | 48 | 77.504 | 1859.5 | |
| 9. | 20.9 | 49 | 31 524 | 2073.1 | Bewegung und Arbeit. |
| 10. | 17.5 | 44 | 41.747 | 2613.9 | Arm bekleidet. |
| 11. | 22.8 | 31 | 46.360 | 3022.3 | |
| 12. | 15.0 | 18 | 38.623 | 3345.4 | Luft künstl. getrocknet. |
| 13. | 24.0 | 34 | 50.898 | 4922.0 | Thee getrunken. |
| 14. | 16.6 | 17 | 65.474 | 7139.2 | Luft künstl. getrocknet. Arm bekleidet. |

Ein Vergleich dieser Tabelle mit Tabelle XXI ergibt, dass die Wasserabgabe vom todten Körper, auch unter so günstigen Verdunstungsbedingungen, wie sie wenigstens in unserm Klima nicht vorkommen, immer sehr bedeutend zurückbleibt hinter derjenigen Wassermenge, die der lebende Organismus auch unter viel weniger günstigen Bedingungen durch Perspiration verliert. Das Maximum der an den todten Armen beobachteten Wasserverdunstung, bei einer Aussentemperatur von 37.5° und einer relativen Feuchtigkeit der umgebenden Luft von 26%, beträgt, für den ganzen Körper berechnet, nur 367 Grm. in 24 Stunden, während der lebende Orga-

nismus in derselben Zeit, bei 22.8° und 33 % relativer Feuchtigkeit, ohne zu schwitzen, 3022 Grm. Wasser durch die Perspiration verlieren kann. — Auch bei den Versuchen mit kleineren Hautstücken, deren innere Fläche beständig mit Wasser in Berührung war, so dass sich die Haut ungehindert und fortwährend imbibiren konnte, wurde niemals mehr als 675 Grm. Wasser in 24 Stunden abgegeben.

Aus diesen Thatsachen können wir folgenden Schluss ziehen: Wenn die Wasserabgabe von der todten Haut, auch unter den günstigsten Bedingungen, weit hinter der Verdunstung von der lebenden Haut zurückbleibt, so muss die vermehrte Verdunstung von der lebenden Haut ein Resultat der Lebensthätigkeit der Organe sein.

Man könnte sich nun vorstellen, dass unter Bedingungen, welche die Verdunstung von der Oberfläche der Haut fördern, oder den Blutlauf in den Cutispapillen, und somit den Austritt von Flüssigkeit ins umliegende Gewebe begünstigen, wie z. B. Trockenheit und hohe Temperatur der Aussenluft, — das rete Malpighii am ganzen Körper mehr Gelegenheit habe, Wasser aufzunehmen, als sonst, dass also auch mehr Wasser in die Hornschicht der Epidermis übergehen und somit mehr von der Oberfläche der letzteren verdunsten könne. Damit wäre eine ganz einfache Erklärung der unter Umständen so bedeutenden Perspirationsgrösse gegeben. Aber es stehen dieser Annahme Thatsachen entgegen, die sich in unseren Tabellen verzeichnet finden Wir haben gesehen, dass auch dann, wenn die innere Fläche der Cutis und Epidermis unmittelbar mit Wasser oder Blutserum in Berührung steht, dennoch die Verdunstung von der Oberfläche der todten Haut nur ein Maximum erreichen kann, das hinter den von uns am lebenden Körper beobachteten Verdunstungsgrössen sehr weit zurücksteht. Da nun auch ein sehr gesteigerter Blutdruck im Gefässsysteme und eine extreme Erweiterung der Gefässe nicht mehr thun können, als den Zellen des rete Malpighii Ernährungsflüssigkeit in reichlicher Menge zur Disposition stellen, und da diese günstige Bedingung in unseren Versuchen mit den kleinen Hautstücken auch erfüllt war, — so ist schwerlich anzunehmen, dass durch dieses erleichterte Uebertreten von Flüssigkeit an die Zellen des rete Malpighii am Lebenden die

von uns konstatirten hohen Zahlen der Wasserverdunstung von der Hautoberfläche erreicht werden könnten; höchstens könnten dadurch Verdunstungsgrössen erzielt werden, wie sie unter günstigen Bedingungen auch an der todten Haut vorkommen, d. h. 100—300 Grm. in 24 Stunden.

Da also von den verhornten Epidermiszellen, — wenn überhaupt Wasser in Dunstform von ihnen abgegeben wird, — nur eine sehr beschränkte Wassermenge verdunsten kann, so müssen für die grossen Quantitäten von Perspirationswasser, die der lebende Körper unter gewissen Bedingungen abgibt, andere Quellen gesucht werden, und so kommen wir auch auf dem Wege der Exklusion dazu, den drüsigen Organen der Haut, und gewiss in erster Linie den Schweissdrüsen, eine wesentliche Rolle bei der unmerklichen Perspiration zuzuschreiben und direkt zu behaupten, dass weitaus der grösste Theil des durch die Haut abgegebenen Wasserdunstes den Schweissdrüsen entstammt.

Es entsteht nun die Frage — wie wir uns die Vorgänge in den Schweissdrüsen vorzustellen haben, wie wir aus ihrer physiologischen Funktion die gewaltigen Schwankungen in der Wasserverdunstung von der Haut erklären, und wie wir den unbestreitbaren Einfluss der äusseren und inneren Bedingungen auf die Thätigkeit dieser Drüsen deuten können.

Es ist bekannt, dass die Schweissdrüsen ein reiches Netz von Kapillaren besitzen; die Möglichkeit des Zutritts reichlicher Mengen von Ernährungsflüssigkeit zu dem Drüsenknäuel ist also gegeben und muss durch alle Umstände gesteigert werden, welche eine Vermehrung der Blutmenge in den zuführenden kleinen Arterien bewirken: hohe Temperatur, Körperanstrengung, Aufnahme grösserer Mengen, namentlich warmer, Getränke etc. müssen durch Erweiterung der Arterien oder durch Steigerung des Blutdruckes die Zufuhr von Flüssigkeit zu den Drüsen fördern. Es ist ferner bekannt, dass die als Schweiss zu Tage tretende Absonderung der Schweissdrüsen unter dem Einflusse des Nervensystems steht, — man erinnere sich an den Angstschweiss, das Schweissstadium bei Intermittensanfällen u. s. f. Die Wirkung der schweisstreibenden Mittel ist theils identisch mit derjenigen warmer Getränke (warmen Thee's), theils er-

klärt sie sich durch einen direkten Einfluss dieser Substanzen auf die vasomotorischen Nerven (Opium). Es können also Einflüsse, welche direkt oder reflektorisch auf die vasomotorischen Nerven der zuführenden Gefässe lähmend wirken, den Zutritt von Material zu den Drüsen steigern und die Thätigkeit derselben erhöhen; so schwitzt z. B. nach der Durchschneidung des nerv. ischiadicus das betreffende Bein. Umgekehrt können Mittel, welche durch Reizung der vasomotorischen Nerven eine Contraktion der Arterien bewirken, die Thätigkeit der Schweissdrüsen hemmen: man erinnere sich an die erfolgreiche Anwendung subkutaner Atropininjektionen gegen die Nachtschweisse phthisischer Personen [1]).

Ob direkt durch Nerveneinfluss die Arbeit der Drüsenzellen gesteigert werden kann ist unbekannt, da man bis jetzt noch keine Nervenfasern im Zusammenhang mit den Zellen gesehen hat. Alle die genannten Momente bedingen aber das Gleiche, — eine reichliche Zufuhr von Ernährungsflüssigkeit zu den Drüsenzellen, die dann ihrerseits von derselben aufnehmen und verarbeiten. Der Schweiss ist nicht ein Transudat aus dem Blute, sondern wie Speichel oder Galle ein Produkt der Drüsenthätigkeit; je mehr Schweiss oder Speichel abgesondert werden, desto wässeriger sind dieselben; es nehmen also die Zellen bei steigender Zufuhr der Ernährungsflüssigkeit verhältnissmässig mehr Wasser daraus auf. Die Drüse liefert demnach die zu verdunstende Flüssigkeit, welche durch den Absonderungsdruck in die Ausführungsgänge gedrückt und so an die Stellen gelangt, die für die Verdunstung günstiger sind. Nach dem Tode hört desshalb die Sekretion auf, gerade so wie die des Harnes. Die Momente, welche auf die insensible Wasserausdünstung von der Haut von Einfluss sind, bewirken also dieselbe jedenfalls theilweise durch eine reichlichere Lieferung von Flüssigkeit.

Die Trockenheit der Luft kann nur kurze Zeit durch raschere Verdunstung intensiv wirken, da das Material bald verzehrt ist; sie muss die Thätigkeit der Drüsenzellen anregen, vielleicht dadurch, dass durch die lebhaftere Verdunstung der abgesonderten Flüssig-

---

1) Siehe hierüber die Arbeit von Fraentzel in Virchow's Archiv 1873, Band 58, pag. 120.

keit der auf den Zellen lastende Druck vermindert, d. h. die Differenz des Druckes in der Drüse und der auf ihr lastenden Flüssigkeitsschicht vermehrt wird; wir hätten dann hierin ein Analogon für die Beobachtung, dass die Galle- oder Harnsecretion stockt, wenn ein Gegendruck von den Ausführungsgängen aus ausgeübt wird. —

Auch der Ventilation muss ein Einfluss auf die Thätigkeit des Organes selbst zugeschrieben werden. Derselbe wirkt wahrscheinlich ähnlich wie die Trockenheit der Luft, oder sie wird möglicherweise durch die Nerven direkt vermittelt; hiefür spricht der Umstand, dass dieselbe Ventilationsgrösse, die bei der todten Haut keine Vermehrung der Wasserabgabe bewirkt, am lebenden Organismus von unzweifelhaftem Einfluss ist. — Höhere Temperatur begünstigt einerseits die Verdunstung der vorhandenen Flüssigkeit, andrerseits aber befördert sie die Thätigkeit der Schweissdrüsen durch die in Folge der Erweiterung der kleinen Arterien vermehrte Zufuhr von Ernährungsflüssigkeit.

Die durch die soeben erwähnten Faktoren hervorgerufene Steigerung der Thätigkeit und Vermehrung des Produkts der Schweissdrüsen genügt uns aber noch nicht zur Erklärung der kolossalen Wassermengen, die unter günstigen Umständen, ohne sichtbaren Schweisserguss, von der Hautoberfläche verdunsten; sie erklären uns, dass so viel Material gegeben ist, aber nicht — wie dasselbe in solcher Quantität und Dunstform weggehen kann. Auch bei den Versuchen mit kleinen Hautstücken war ja, wenn auch die Funktion der Drüsen ausgeschlossen war, eine reichliche Zufuhr von Material dadurch gesichert, dass die innere Fläche der Haut direkt mit dem Wasser in Berührung stand, — und doch blieb die Verdunstung eine verhältnissmässig sehr geringe. Demnach ergibt sich die weitere Erklärung der gesteigerten Perspiration von selbst: sie muss abhängen von einer Vergrösserung der verdunstenden Oberfläche. Ist die Zufuhr von Material und die Thätigkeit der Drüsen eine mässige, so genügt schon eine verhältnissmässig geringe Menge von Wandungszellen des Drüsenausführungsganges um die von der Drüse gelieferte Flüssigkeit durch Imbibition in sich aufzunehmen, — die Flüssigkeitssäule im Gange, wenn überhaupt eine solche vorhanden ist, wird sehr tief stehen,

und die verdunstende Oberfläche relativ klein sein. Wird dagegen unter dem Einfluss begünstigender Momente die Masse der abgesonderten Flüssigkeit im Drüsenknäuel gesteigert, so sind entsprechend mehr Auskleidungszellen nöthig um die Flüssigkeit aufzunehmen, und die verdunstende Oberfläche wird dadurch sofort vergrössert. Die Vergrösserung selbst entzieht sich natürlicherweise jeder Berechnung, aber es genügt hier zu zeigen, dass die Annahme derselben den durch das Experiment gefundenen Thatsachen entspricht, und dass die letzteren ihrerseits hieraus erklärt werden können. An Körperstellen, deren Epidermis dünn und zart ist, wo also die einzelnen Zellen weniger verhornt sind, kann sich die Imbibition mit Flüssigkeit auch leichter auf die in die Mündung des Ausführungsganges der Drüse sich hineinerstreckenden Epidermiszellen und vielleicht sogar, wie Reinhard annimmt, auf die ganze Umgebung der Mündung an der Oberfläche erstrecken, während dies bei dicker, stark verhornter Epidermis anderer Körperstellen schwieriger geschieht. So können also Hautpartieen, die weniger Schweissdrüsen besitzen, als andere, dennoch ebensoviel Wasserdunst liefern, wenn nur ihre Epidermis weicher, dünner, imbibitionsfähiger ist. So steht unsere Anschauung von der Bedeutung der Schweissdrüsen für die perspiratio insensibilis durchaus nicht in Widerspruch mit der von Reinhard gefundenen Thatsache, dass Wange und Stirn, trotz der geringeren Anzahl von Schweissdrüsen, welche sich an diesen Körpertheilen finden, mehr Wasserdunst abgeben können, als die Volarfläche der Hand.

Ich lasse also die Frage offen, ob ein Theil des von der Oberfläche der Haut abgegebenen Wasserdunstes durch die Epidermiszellen hindurch die Haut verlässt, — ich halte dies sogar für wahrscheinlich; aber ich ziehe aus den Resultaten meiner Versuche den Schluss, dass weitaus der grösste Theil der unmerklichen Hautausdünstung, insoweit sie das Wassergas betrifft, durch die Schweissdrüsen geliefert wird. Ohne diese Annahme ist der bedeutende Einfluss der äusseren Faktoren auf die Perspirationsgrösse und die grosse absolute Höhe, welche die letztere unter gewissen Umständen beim lebenden Körper erreicht, vollkommen unerklärbar. Es gibt also keinen qualitativen Unterschied

zwischen unsichtbarer Wasserverdunstung durch die Haut und der Erscheinung des Schweisses auf der Hautoberfläche. Die Differenz liegt nur in der Quantität des Produktes der Drüsenthätigkeit und in den äussern Umständen, die bei gleicher Drüsenthätigkeit das eine Mal der Verdunstung günstiger sein können, als das andere Mal. Im letzteren Falle tritt Schweiss auf. — Ich hatte einigemale Gelegenheit zu bemerken, wie leicht die unmerkliche Hautausdünstung in die Erscheinung wirklichen Schweisses übergehen kann. Unter Umständen, welche die Sekretion der Schweissdrüsen in hohem Maasse anregen mussten (warmes Getränke, hohe Temperatur, Bewegung) bemerkte ich zuweilen während des Versuchs, dass die Haut sich etwas feuchter anfühlte wie gewöhnlich, obschon von sichtbarer Schweissbildung keine Rede war; aber ich fühlte, dass jeden Augenblick ein Schweissausbruch erfolgen könnte, wenn die Thätigkeit der Drüsen noch etwas mehr gesteigert würde. Weyrich hat dieselbe Beobachtung an sich gemacht, und beschreibt sie mit folgenden Worten[1]: „Dieser Darstellung entspricht in ungezwungenster Weise die ausnahmslos von uns gemachte Beobachtung, dass die unmittelbaren Vorboten eines zum Ausbruche gelangenden Schweisses in einer ungewöhnlichen Steigerung der unmerklichen Wasserverdunstung der Haut . . . bestanden."

Es ist begreiflich, dass wir nach den gemachten Beobachtungen nicht mehr mit Röhrig die Ansicht theilen können, es sei bei der perspiratio insensibilis am lebenden Körper keine Rede von einer „physiologischen Aeusserung gewisser Lebenskräfte" der Schweissdrüsen, und der Vorgang erfolge einfach nach den bekannten physikalischen Gesetzen der Diffusion. So wenig man den Harn (oder Speichel) lediglich als ein Diffusat betrachtet, sondern eine spezifische Thätigkeit der die Harnkanälchen (oder die Drüsenbläschen) auskleidenden Epithelzellen annimmt, ebensowenig kann man den Schweiss oder die bei der unmerklichen Perspiration verdunstende Flüssigkeit einfach als ein Diffusat ansehen; ausserdem wäre durch die letztere Annahme der Unterschied in der Quantität der Wasserverdunstung von der

1) Loco cit. pag. 218.

lebenden und der todten Haut absolut unerklärlich. Man könnte sich auch keine Rechenschaft darüber geben, warum bei der todten Haut eine Vermehrung des Druckes keine merkbare Steigerung der Verdunstung von der Oberfläche bewirkt, während beim lebenden Körper die Erhöhung des Blutdruckes offenbar eine Steigerung der perspiratio insensibilis zu Stande bringt.

Nimmt man aber die Thätigkeit der Schweissdrüsen als Faktor für das Zustandekommen der perspiratio insensibilis an, so erklärt sich diese Erscheinung einfach: an der todten Haut, wo die spezifische Funktion der Drüsen aufgehört hat, kann durch Transsudation nur eine gewisse Menge von Flüssigkeit zur Verdunstung geliefert werden und durch Erhöhung des Druckes wird diese Menge nicht merklich vermehrt; an der lebenden Haut dagegen bewirkt der vermehrte Blutdruck eine grössere Ausscheidung von Ernährungsflüssigkeit, somit eine erhöhte Lieferung von Material für die Drüsen und eine gesteigerte Thätigkeit der letzteren, wodurch denn auch, wie wir oben auseinandersetzten, die verdunstende Oberfläche vergrössert wird. Wir halten also eine spezifische Thätigkeit der Schweissdrüsen bei der perspiratio insensibilis für bewiesen.

Den Schluss, den wir nun für die Bedeutung der Epidermis einerseits und der Schweissdrüsen andererseits aus unseren Untersuchungen ziehen, ist der, dass die Funktion dieser Organe, soweit sie die Perspiration betrifft, in einem deutlichen Gegensatze zu einander steht. Die Epidermis ist ein Schutzorgan und verhütet in hohem Maasse durch ihre verhornten Zellen die Verdunstung des Wassers von der Körperoberfläche. In wie hohem Maasse dies der Fall ist, zeigt ein Versuch, den Professor Voit schon vor Jahren angestellt hat: wenn man ein Stück Haut mit der Epidermis nach oben flach auf eine Glasplatte legt und nun die freien Ränder der Haut mit Wachs gut verklebt, so behält das Hautstück sehr lange Zeit hindurch seine Feuchtigkeit und trocknet nicht aus; schabt man an einer Stelle die Epidermis mit einem Messer ab, so vertrocknet in Kurzem die Stelle. Reinhard hat berechnet, dass bei gleicher Oberfläche von der Epidermis 60—80 mal weniger ver-

dunstet, als von einer Wasserfläche. Nimmt man zum Vergleich mit der Epidermisoberfläche kleinere Wasserflächen, wie sie angefüllte Trichterröhren oder kleine Bechergläser bieten, so erhält man allerdings annähernd dieses Resultat; benutzt man aber zum Vergleich die durch den Versuch ermittelte Verdunstung von grösseren Wasseroberflächen, was aus weiter oben angeführten Gründen jedenfalls richtiger ist, so zeigt sich, dass — ceteris paribus — das Wasser von der Epidermisfläche nur in etwa 20—30 fach geringerer Menge verdunstet, als von der Wasserfläche. Immerhin beweisen auch diese Vergleiche, dass die Epidermis ein Organ ist, welches die Verdunstung des Wassers von der Körperoberfläche hindert und dieselbe vor Vertrocknung bewahrt. — Nun wissen wir jedoch, dass die Wasserverdunstung eine sehr grosse Rolle in der Wärmeoekonomie unseres Körpers spielt. Es ist bekannt, dass unter gewöhnlichen Umständen 21 % der Wärmeabgabe durch die Haut auf Rechnung der Wasserverdunstung kommen; aber es gibt Verhältnisse, in denen das Wohlsein unseres Organismus eine rasche Verdoppelung und Verdreifachung der Wärmeabgabe erfordert. Dies ist bei der gegebenen Organisation unseres Körpers auf keinem Wege leichter zu erreichen, als durch vermehrte Wasserverdunstung von der Oberfläche desselben. Um daher eine zeitweilige, starke Vermehrung der Wasserabgabe zu ermöglichen, muss ein besonderes Organ vorhanden sein, dessen Funktion unter dem Einflusse gerade derjenigen äussern und innern Bedingungen steht, welche im Allgemeinen geneigt sind die Eigentemperatur unseres Körpers zu erhöhen (hohe Aussentemperatur, Aufnahme warmer Getränke, Arbeit etc.) Alle diese Einflüsse bewirken unmittelbar eine Veränderung in der Innervation der vasomotorischen Nerven, die die Schweissdrüsen umgebenden kleinen Arterien werden weit, die Abgabe von Ernährungsflüssigkeit an dieselben steigert sich, ihre Sekretion nimmt zu, die verdunstende Oberfläche wird vergrössert, und durch Vermehrung der Wasserabgabe wird die Eigentemperatur des Körpers in ihrer normalen Höhe erhalten. Unsere Versuche haben gezeigt, dass so eminente Schwankungen der Wasserverdunstung, wie sie im Interesse der Wärmeökonomie des Körpers nöthig sind, und wie sie in der That auch vorkommen, durch die Epidermiszellen hin-

durch nicht vermittelt werden können. In den Schweissdrüsen dagegen haben wir ein durch die ganze Haut weitverzweigtes Organ, das diesen Dienst versieht und dessen Volumen nach Krause 3.965 Cubik-Zoll = 77 Cubik-Centimeter (ungefähr 1/3 des Volumens einer Niere) beträgt. — Indem man also die Schweissdrüsen als Ventil für die Wasserverdunstung durch die Haut und für die Wärmeabgabe vom Körper auffasst, begreift man jetzt erst ihre ganze physiologische Bedeutung.

---

# Der Raumsinn der Haut des Rumpfes und des Halses.

Von

G. Hartmann

aus Tübingen.

Mit vorliegender Abhandlung werden die seit 6 Jahren im hiesigen physiologischen Institut angestellten Versuche über den Raumsinn der Haut zum Abschluss gebracht.

Während meine nach demselben Plane arbeitenden Vorgänger die Extremitäten und den Kopf zum Gegenstand ihrer Untersuchungen gemacht haben, folgte ich gerne der Aufforderung von Herrn Prof. v. Vierordt, die noch übrig bleibenden Theile — Rumpf und Hals — auf ihre Tastempfindlichkeit zu prüfen.

Was von früheren Messungen vorliegt, ist sehr wenig. Bei E. H. Weber finden wir nur drei Angaben und zwar: Hals unter der Kinnlade 15 Par. Lin., Haut auf dem Brustbeine 20‴, und Haut am Rückgrate in der Hals-, Brust- und Lendengegend 21 bis 30‴, als geringsten Abstand der beiden Zirkelspitzen, bei dem noch doppelt empfunden wurde. Bei G. Valentin in seinem Lehrbuche der Physiologie etwas mehr, nämlich: (Mittelwerthe in Pariser Linien) Schaamberg 9.2‴, Brustwarze 12‴, Achselgrube 13‴, Haut an der Halswirbelsäule nahe dem Hinterhaupt 13.2‴, Haut an dem Heiligbein 14.9‴, Haut am Brustbeine 15.8‴, Haut an der Mitte der Halswirbelsäule 18.5, Haut an den fünf obersten Rückenwirbeln in der Nähe der Mittellinie des Rückens 19‴, Haut an den untersten Theilen der Brust- und der Lendenwirbelsäule 19.9‴, Haut an der Mitte der Rückenwirbelsäule 24.2‴.

Diese Versuche zeigen nur geringe Differenzen in den Einzellocalitäten, indem die grösste Schwankung zwischen 9‴ (Schaamberg) und 30‴ (Wirbelsäule) liegt. Es ist dies aber auch nicht

anders zu erwarten nach der Theorie von Prof. v. Vierordt, dass die Feinheit des Raumsinnes der verschiedenen Hautstellen von der Exkursionsweite ihrer Bewegungen abhängig ist.

Eben wegen der in Aussicht stehenden geringen Differenzen des Raumsinnes in der von mir untersuchten Körperregion musste ich, um zu sicheren Endwerthen für jede Einzellocalität zu kommen, sehr zahlreiche Versuche ansammeln. Dieselben vertheilen sich auf zwei Semester vom Herbst 1873 bis Herbst 1874 und wurden ganz nach der Methode, welche meine Vorgänger im hiesigen physiologischen Institute anwandten, ausgeführt, sowohl in Beziehung auf die Technik, als auf die Berechnung der Versuchsergebnisse. Ich habe in diesem Betreff einfach auf die Arbeiten meiner Vorgänger zu verweisen.

Bei jeder von mir geprüften Einzellokalität wurden sehr verschiedene Abstände der die Haut berührenden Nadelpaare gewählt, so zwar, dass der kleinste Abstand der Nadeln immer oder fast immer einfach, der grösste immer doppelt empfunden wurde.

Die aus jeweils sehr zahlreichen Versuchen gewonnenen prozentigen Zahlen der gehabten Doppelempfindungen wurden — wie schon meine beiden unmittelbaren Vorgänger Paulus und Riecker verfuhren — in der Art graphisch aufgezeichnet, dass auf die Abscisse die prozentige Zahl der Doppelempfindungen von 0 bis 100 aufgetragen wurde, während die entsprechenden Abstände der Nadelspitzen als Ordinaten aufgetragen wurden. Indem die Spitzen der benachbarten Ordinaten durch gerade Linien verbunden wurden, erhielt ich für jede Einzellokalität eine Curve, die von 0 % bis 100 % richtiger Fälle allmählich ansteigt. Somit konnte für jeden Abstand der Nadelspitzen — und zwar auch solche Abstände, die nicht untersucht wurden — die zugehörige Zahl der richtigen Empfindungen ermittelt werden.

Es wurden nun für jede Einzellocalität die einer bestimmten Anzahl richtiger Fälle entsprechenden Abstände der Nadelpaare tabellarisch aufgezeichnet und zwar, von 5 % richtiger Entscheidungen an, der Reihe nach für 10, 15 u. s. w. bis 100 Prozent (S. die Tabelle II).

Die jeweiligen Abstände der Nadelpaare, welche den 10 Kategorien von 55 % bis 100 % richtiger Fälle angehören, wurden addirt und die erhaltenen Summen als vergleichbare Ausdrücke der Feinheit des Raumsinnes betrachtet. Je kleiner die betreffenden Werthe, um so grösser ist die Feinheit des Raumsinnes; sie stellen somit zunächst nur die Stumpfheitswerthe des Raumsinnes dar.

Den bei solchen Versuchen möglichen Fehler, dass die Abstände der Spitzen des dazu verwendeten Zirkels dann und wann etwas fehlerhaft abgelesen werden, vermied ich dadurch, dass ich, wie bei den Versuchen meiner Vorgänger, für jeden benützten Abstand ein für alle Mal auf Brettchen fixirte Nadeln anwandte.

Um übrigens von der Zuverlässigkeit der Versuchsmethode und der gewonnenen Resultate mich zu überzeugen, vertheilte ich an mehreren Hautlocalitäten die Versuche in 2 bis 3 Gruppen und berechnete die Raumsinnswerthe jeder dieser Einzelngruppen für sich.

Sie ergeben folgende Resultate. (Die Zahlen sind auf dieselbe Weise gewonnen, wie die in Tabelle II, letzte Verticalcolumne.)

| | | 1. Gruppe. | 2. Gruppe. | 3. Gruppe. |
|---|---|---|---|---|
| Localitäten. | V. 2. | 119.1 | 124 | |
| | V. 5. | 155.7 | 146.7 | |
| | V. 7. | 120.9[1] | 102.8 | 112.1 |
| | S. 3. | 187.1 | 182.1 | |

In der Arbeit von A. Riecker[2]) findet sich, wie in der meinigen, die Vertebra prominens ebenfalls als Versuchslokalität angenommen. Riecker erhielt daselbst die Zahl 111.6, ich 113.4, also eine Uebereinstimmung, die einer völligen Identität gleich ist.

Im Ganzen stellte ich an 23 Lokalitäten Versuche an. Die Totalsumme der Einzelbestimmungen beläuft sich auf die hohe Zahl von 20.047, abgesehen von den Versuchen der Tabelle V. Die Versuchslokalitäten gehören 3 Gruppen an:

---

1) Diese Versuchsreihe fiel in den Anfang meiner Arbeit.

2) Zeitschrift für Biologie. 1874. S. 195.

I. Der Medianlinie der Vorderseite des Rumpfes und des Halses. Der tiefste Punkt liegt über der Symphyse, der höchste über dem oberen Rande des Schildknorpels. Die Lokalitäten dieser Reihe sind mit *V* (vorn) und ihrer speziellen Nummer von 1 bis 9 bezeichnet.

II. Eine zweite Gruppe von Versuchslokalitäten liegt in einer geraden Linie, welche von der Achselhöhle senkrecht nach abwärts gezogen ist. Diese Lokalitäten sind mit *S* (seitlich) und ihrer zugehörigen Nummer 1 bis 6 bezeichnet. Nur die höchste Stelle S. 7 macht eine Ausnahme, sie liegt mehr nach vorn, unmittelbar unter dem Schlüsselbein, der Mitte desselben entsprechend. Die Versuche der *S*-Reihe sind auf der linken Körperseite angestellt. An den seitlichen Theilen des Halses habe ich keine Versuche angestellt.

III. In die dritte Gruppe fallen die Versuche, welche an Stellen der Medianlinie der Hinterseite des Rumpfes und des Halses gemacht wurden. Diese Lokalitäten sind mit *H* (hinten) und ihren zugehörigen Nummern bezeichnet.

Die näheren Angaben über die Lage der einzelnen Lokalitäten s. in den Tabellen I und besonders III.

Die Versuche fallen in mein 22. und 23. Lebensjahr. Mein Körpergewicht beträgt 67 Kilogrm., meine Körperlänge 177 Cm. und zwar:

| | | |
|---|---|---|
| Von der Fusssohle bis zur Axe des Fussgelenkes . | 7.3 | Centm. |
| Von der Axe des Fussgelenkes bis zur Axe des Hüftgelenkes . . . . . . . . . . . . . . . . | 87.7 | „ |
| Von der Axe des Hüftgelenkes bis zum 7. Halswirbel . . . . . . . . . . . . . . . . | 53.5 | „ |
| Halswirbelsäule . . . . . . . . . . . . . . | 6.5 | „ |
| Vom 1. Halswirbel bis zum Scheitel . . . . . | 21.5 | „ |
| | 176.5 | |

## Tabelle I. Zusammenstellung der Versuche.

| Abstand in Pariser Linien | Zweifach empfunden | Einfach empfunden | Unentschieden | Absolute Zahl der Versuche | |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | | 94.6 | 5.4 | 60 | V. 1. Symphysis pubis. |
| 4 | | 90.5 | 9.5 | 63 | |
| 5 | 7.4 | 58.8 | 33.8 | 56 | |
| 6 | 12.2 | 53.4 | 34.4 | 58 | |
| 7 | 12 | 55.7 | 32.3 | 59 | |
| 8 | 22.8 | 50.8 | 26.4 | 57 | |
| 10 | 54 | 31 | 15 | 61 | |
| 12 | 79 | 10.5 | 10.5 | 58 | |
| 14 | 96.8 | 1.6 | 1.6 | 62 | |
| 16 | 100 | | | 60 | |
| 18 | 100 | | | 58 | |
| 20 | 100 | | | 60 | |
| | Gesammtzahl = 712 | | | | |
| 0 | 3.5 | 93 | 3.5 | 58 | V. 2. Mitte zwischen Nabel und Symphys. pubis. |
| 4 | 1.5 | 83 | 15.5 | 64 | |
| 5 | 11.3 | 61.7 | 27 | 63 | |
| 6 | 19 | 69 | 12 | 63 | |
| 7 | 23.5 | 62.7 | 13.8 | 65 | |
| 8 | 40.9 | 45.4 | 13.7 | 66 | |
| 10 | 61.9 | 22.6 | 15.5 | 66 | |
| 12 | 84 | 9 | 7 | 57 | |
| 14 | 89 | 6.3 | 4.7 | 65 | |
| 16 | 98 | 2 | | 66 | |
| 18 | 100 | | | 65 | |
| 20 | 100 | | | 64 | |
| | Gesammtzahl = 762 | | | | |
| 0 | 4.6 | 95.4 | | 64 | V. 3. Nabel. |
| 4 | 2 | 98 | | 50 | |
| 5 | 6.2 | 93.8 | | 49 | |
| 6 | 17.6 | 82.4 | | 51 | |
| 7 | 23 | 75 | 2 | 48 | |
| 8 | 41.2 | 56.8 | 2 | 51 | |
| 10 | 68.5 | 31.5 | | 54 | |
| 12 | 90.4 | 9.6 | | 52 | |
| 14 | 94 | 6 | | 50 | |
| 16 | 100 | | | 53 | |
| 18 | 100 | | | 49 | |
| 20 | 100 | | | 52 | |
| | Gesammtzahl = 623 | | | | |

| Abstand in Pariser Linien | Zweifach empfunden | Einfach empfunden | Unentschieden | Absolute Zahl der Versuche | |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | | 100 | | 48 | V. 4. Mitte zwischen Nabel und Processus ensiformis. |
| 4 | | 100 | | 54 | |
| 5 | 2.1 | 97.9 | | 49 | |
| 6 | 3.5 | 96.5 | | 58 | |
| 7 | 11.4 | 84.7 | 3.9 | 53 | |
| 8 | 20.3 | 72.3 | 7.4 | 54 | |
| 10 | 59.5 | 35 | 5.5 | 57 | |
| 12 | 80.5 | 17.5 | 2 | 57 | |
| 14 | 92.3 | 7.7 | | 55 | |
| 16 | 100 | | | 56 | |
| 18 | 100 | | | 56 | |
| 20 | 100 | | | 56 | |
| | Gesammtzahl = 653. | | | | |
| 0 | 5.8 | 89.4 | 4.8 | 105 | V. 5. Processus ensiformis. |
| 4 | 1 | 97.4 | 1.6 | 119 | |
| 5 | 5.5 | 92.4 | 2.1 | 115 | |
| 6 | 5 | 91.8 | 3.2 | 123 | |
| 7 | 8.8 | 90.4 | 0.8 | 125 | |
| 8 | 16.8 | 80.7 | 2.5 | 126 | |
| 10 | 26.3 | 70.1 | 3.6 | 122 | |
| 12 | 49.1 | 46 | 4.9 | 126 | |
| 14 | 71.4 | 24.8 | 3.8 | 133 | |
| 16 | 89.5 | 8.5 | 2 | 122 | |
| 18 | 97.6 | 2.4 | | 122 | |
| 20 | 100 | | | 119 | |
| | Gesammtzahl = 1457 | | | | |
| 0 | 9 | 91 | | 53 | V. 6. Mitte des Brustbeins. |
| 4 | 14.8 | 85.2 | | 54 | |
| 5 | 20.4 | 77.8 | 1.8 | 55 | |
| 6 | 24.5 | 70 | 5.5 | 57 | |
| 7 | 36 | 62.4 | 1.6 | 60 | |
| 8 | 44.4 | 53.7 | 1.9 | 52 | |
| 10 | 83.6 | 14.6 | 1.8 | 56 | |
| 12 | 83.6 | 14.6 | 1.8 | 55 | |
| 14 | 96 | 4 | | 52 | |
| 16 | 100 | | | 53 | |
| 18 | 100 | | | 52 | |
| 20 | 100 | | | 52 | |
| | Gesammtzahl = 651 | | | | |

**V. 7. Incisura semilunaris sterni.**

| Abstand in Pariser Linien | Zweifach empfunden | Einfach empfunden | Unentschieden. | Absolute Zahl der Versuche |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 2.3 | 97.7 | | 87 |
| 4 | 4 | 96 | | 108 |
| 5 | 9.8 | 88.2 | 2 | 102 |
| 6 | 22 | 75 | 3 | 112 |
| 7 | 24.5 | 72.5 | 3 | 106 |
| 8 | 42.4 | 51.8 | 5.8 | 106 |
| 10 | 70.3 | 27.6 | 2.1 | 109 |
| 12 | 94.1 | 3.9 | 2 | 106 |
| 14 | 97.3 | 2.7 | | 111 |
| 16 | 100 | | | 105 |
| 18 | 100 | | | 104 |
| 20 | 100 | | | 95 |
| | Gesammtzahl = 1251 | | | |

**V. 8. Mitte zwischen Incisur. thyreoid. und Incisur. semilunaris sterni.**

| Abstand in Pariser Linien | Zweifach empfunden | Einfach empfunden | Unentschieden. | Absolute Zahl der Versuche |
|---|---|---|---|---|
| 0 | | 100 | | 51 |
| 3 | 3.2 | 96.8 | | 64 |
| 4 | 9.5 | 90.5 | | 64 |
| 5 | 21.8 | 78.2 | | 64 |
| 6 | 42.9 | 57.1 | | 70 |
| 7 | 52.9 | 47.1 | | 68 |
| 8 | 78.3 | 21.7 | | 65 |
| 10 | 97 | 3 | | 66 |
| 12 | 100 | | | 66 |
| | Gesammtzahl = 578 | | | |

**V. 9. Hals. Incisura cartilaginis thyreoideae.**

| Abstand in Pariser Linien | Zweifach empfunden | Einfach empfunden | Unentschieden. | Absolute Zahl der Versuche |
|---|---|---|---|---|
| 0 | | 100 | | 37 |
| 3 | 1.8 | 98.2 | | 55 |
| 4 | 12.4 | 87.6 | | 58 |
| 5 | 20.8 | 79.2 | | 58 |
| 6 | 37.6 | 62.4 | | 56 |
| 7 | 50.8 | 47.4 | 1.8 | 69 |
| 8 | 87 | 13 | | 53 |
| 10 | 98.2 | 1.8 | | 56 |
| 12 | 100 | | | 53 |
| 14 | 100 | | | 53 |
| | Gesammtzahl = 538 | | | |

**S. 1. Ueber den Pfannenrande.**

| Abstand in Pariser Linien | Zweifach empfunden. | Einfach empfunden | Unentschieden | Absolute Zahl der Versuche |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 1.8 | 98.2 | | 57 |
| 4 | 4.5 | 95.5 | | 73 |
| 5 | 9 | 80.7 | 10.3 | 78 |
| 6 | 12.2 | 82.4 | 5.4 | 74 |
| 7 | 18.7 | 69.3 | 12 | 75 |
| 8 | 28.2 | 60.4 | 11.4 | 71 |
| 10 | 42.3 | 50 | 7.7 | 78 |
| 12 | 71.9 | 26.5 | 1.6 | 72 |
| 14 | 79.1 | 19.3 | 1.6 | 73 |
| 16 | 91.2 | 4.4 | 4.4 | 72 |
| 18 | 94.8 | 5.2 | | 78 |
| 20 | 100 | | | 74 |
| | Gesammtzahl = 875 | | | |

**S. 2. Unterhalb der Crista ossis ilei, auf der Höhe von V. 2.**

| Abstand in Pariser Linien | Zweifach empfunden. | Einfach empfunden | Unentschieden | Absolute Zahl der Versuche |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 3.2 | 91.3 | 5.5 | 63 |
| 4 | 3.8 | 81.9 | 14.3 | 78 |
| 5 | 7.1 | 83 | 9.9 | 72 |
| 6 | 15 | 76 | 9 | 81 |
| 7 | 22.3 | 71.5 | 6.2 | 81 |
| 8 | 33.2 | 58.2 | 8.6 | 73 |
| 10 | 47 | 47 | 6 | 85 |
| 12 | 65.4 | 24.8 | 9.8 | 86 |
| 14 | 78.6 | 16 | 5.4 | 76 |
| 16 | 88.3 | 5.2 | 6.5 | 79 |
| 18 | 98.5 | 1.5 | | 76 |
| 20 | 100 | | | 77 |
| | Gesammtzahl = 927 | | | |

**S. 3. Auf der Höhe des Nabels.**

| Abstand in Pariser Linien | Zweifach empfunden. | Einfach empfunden | Unentschieden | Absolute Zahl der Versuche |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 18.7 | 81.3 | | 65 |
| 4 | 4.4 | 91.2 | 4.4 | 47 |
| 5 | 7.3 | 84.5 | 9.2 | 44 |
| 6 | 6 | 82 | 12 | 50 |
| 7 | 13 | 75.4 | 11.6 | 70 |
| 8 | 22.5 | 72.2 | 5.3 | 76 |
| 10 | 28 | 62 | 10 | 72 |
| 12 | 37.2 | 54.6 | 8.2 | 73 |
| 14 | 48.6 | 44.7 | 6.7 | 76 |
| 16 | 61.5 | 30.1 | 8.4 | 76 |
| 18 | 72.2 | 18.2 | 9.6 | 73 |
| 20 | 93.2 | 5.3 | 1.5 | 77 |
| 22 | 96.8 | 1.6 | 1.6 | 60 |
| 24 | 100 | | | 58 |
| | Gesammtzahl = 917 | | | |

S. 4. Auf der Höhe von V. 4.

| Abstand in Pariser Linien | Zweifach empfunden | Einfach empfunden | Unentschieden | Absolute Zahl der Versuche |
|---|---|---|---|---|
| 0 | | 100 | | 50 |
| 6 | | 100 | | 68 |
| 7 | 6 | 94 | | 70 |
| 8 | 19.4 | 79.1 | 1.5 | 67 |
| 10 | 33.2 | 65.2 | 1.6 | 72 |
| 12 | 48.6 | 46.2 | 5.2 | 82 |
| 14 | 60 | 37.3 | 2.7 | 75 |
| 16 | 75.6 | 24.4 | | 74 |
| 18 | 83.7 | 12.2 | 4.1 | 74 |
| 20 | 95.4 | 3 | 1.6 | 71 |
| 22 | 100 | | | 67 |
| | Gesammtzahl = 770 | | | |

S. 5. Auf der Höhe des Processus ensiformis. (7. Rippe.)

| Abstand in Pariser Linien | Zweifach empfunden | Einfach empfunden | Unentschieden | Absolute Zahl der Versuche |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 10 | 90 | | 100 |
| 4 | 5.2 | 88.4 | 6.4 | 78 |
| 5 | 8 | 78.6 | 13.4 | 75 |
| 6 | 9.3 | 77.4 | 13.3 | 79 |
| 7 | 10 | 80 | 10 | 115 |
| 8 | 12 | 73.4 | 14.6 | 117 |
| 10 | 26.1 | 61.3 | 12.6 | 119 |
| 12 | 42 | 51.5 | 6.5 | 126 |
| 14 | 51.3 | 43.5 | 5.2 | 120 |
| 16 | 61.6 | 35 | 3.4 | 120 |
| 18 | 70.8 | 24.2 | 5 | 124 |
| 20 | 91.1 | 8.1 | 0.8 | 123 |
| 22 | 97.5 | | 2.5 | 45 |
| 24 | 100 | | | 45 |
| | Gesammtzahl = 1386 | | | |

S. 6. Auf der Höhe von V. 6.

| Abstand in Pariser Linien | Zweifach empfunden | Einfach empfunden | Unentschieden | Absolute Zahl der Versuche |
|---|---|---|---|---|
| 0 | | 100 | | 51 |
| 4 | 1.7 | 98.3 | | 64 |
| 5 | 3.1 | 90.6 | 6.3 | 65 |
| 6 | 10.7 | 83.9 | 5.4 | 75 |
| 7 | 22.9 | 77.1 | | 79 |
| 8 | 40.5 | 59.5 | | 79 |
| 10 | 57.2 | 41.2 | 1.6 | 70 |
| 12 | 69.8 | 30.2 | | 73 |
| 14 | 77.5 | 21.0 | 1.5 | 72 |
| 16 | 92.6 | 7.4 | | 70 |
| 18 | 100 | | | 61 |
| 20 | 100 | | | 63 |
| | Gesammtzahl = 822 | | | |

S. 7. Unter der Clavicula.

| Abstand in Pariser Linien | Zweifach empfunden | Einfach empfunden | Unentschieden | Absolute Zahl der Versuche |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 8 | 90 | 2 | 51 |
| 4 | 4.6 | 93.8 | 1.6 | 66 |
| 5 | 6.1 | 83.1 | 10.8 | 66 |
| 6 | 11.1 | 84.2 | 4.7 | 64 |
| 7 | 16.7 | 79 | 4.3 | 72 |
| 8 | 36.8 | 60.2 | 3 | 68 |
| 10 | 46.4 | 50.6 | 3 | 71 |
| 12 | 62.5 | 34.5 | 3 | 70 |
| 14 | 68.3 | 27.3 | 4.4 | 70 |
| 16 | 83.8 | 10.3 | 5.9 | 68 |
| 18 | 95.1 | 4.9 | | 65 |
| 20 | 100 | | | 62 |
| | Gesammtzahl = 793 | | | |

H. 1. Ueber dem Steissbein.

| Abstand in Pariser Linien | Zweifach empfunden | Einfach empfunden | Unentschieden | Absolute Zahl der Versuche |
|---|---|---|---|---|
| 0 | | 100 | | 45 |
| 5 | 3 | 97 | | 73 |
| 6 | 7.8 | 89 | 3.2 | 65 |
| 7 | 12.5 | 87.5 | | 72 |
| 8 | 39 | 59.2 | 1.8 | 69 |
| 10 | 44 2 | 51.4 | 4.4 | 68 |
| 12 | 66.6 | 33.4 | | 69 |
| 14 | 74.3 | 24.3 | 1.4 | 70 |
| 16 | 82.3 | 16 | 1.7 | 69 |
| 18 | 93 | 7 | | 71 |
| 20 | 97 | 3 | | 63 |
| 22 | 100 | | | 66 |
| | Gesammtzahl = 800 | | | |

H. 2. Fünfter Lumbalwirbel.

| Abstand in Pariser Linien | Zweifach empfunden | Einfach empfunden | Unentschieden | Absolute Zahl der Versuche |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 2.1 | 97.9 | | 49 |
| 5 | 2.8 | 97.2 | | 74 |
| 6 | 5.4 | 86.4 | 8.2 | 72 |
| 7 | 11.4 | 84.6 | 4 | 73 |
| 8 | 26.7 | 66.6 | 6.7 | 75 |
| 10 | 40 | 53.7 | 6.3 | 80 |
| 12 | 69 | 28.6 | 2.4 | 84 |
| 14 | 76.9 | 21.8 | 1.3 | 78 |
| 16 | 87.8 | 12.2 | | 74 |
| 18 | 93.2 | 6.8 | | 75 |
| 20 | 100 | | | 75 |
| 22 | 100 | | | 72 |
| | Gesammtzahl = 881 | | | |

**H. 3. Unterhalb des zwölften Brustwirbels.**

| Abstand in Pariser Linien | Zweifach empfunden | Einfach empfunden | Unentschieden | Absolute Zahl der Versuche |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 4.5 | 95.5 | | 48 |
| 5 | 3.8 | 96.2 | | 78 |
| 6 | 9 | 91 | | 79 |
| 7 | 16 | 84 | | 75 |
| 8 | 20.6 | 79.4 | | 78 |
| 10 | 41.9 | 55.4 | 2.7 | 74 |
| 12 | 71.8 | [illegible] | | 82 |
| 14 | 81.2 | 16.2 | 2.6 | 81 |
| 16 | 91.4 | 8.6 | | 72 |
| 18 | 98.6 | 1.4 | | 78 |
| 20 | 100 | | | 79 |
| 22 | 100 | | | 50 |

Gesammtzahl = 874

**H. 4. Sechster Brustwirbel.**

| Abstand in Pariser Linien | Zweifach empfunden | Einfach empfunden | Unentschieden | Absolute Zahl der Versuche |
|---|---|---|---|---|
| 0 | | 100 | | 54 |
| 4 | 2.3 | 97.7 | | 87 |
| 5 | 4.3 | 95.7 | | 93 |
| 6 | 8.7 | 86.8 | 4.5 | 93 |
| 7 | 13 | 85.8 | 1.2 | 93 |
| 8 | 23.5 | 75.5 | 1 | 98 |
| 10 | 37.6 | 60.1 | 2.3 | 93 |
| 12 | 53 | 42.6 | 4.4 | 94 |
| 14 | 68.7 | 31.3 | | 96 |
| 16 | 84.8 | 12.1 | 3.1 | 99 |
| 18 | 95.4 | 4.6 | | 92 |
| 20 | 100 | | | 96 |

Gesammtzahl = 1088

**H. 5. Unterhalb des siebenten Halswirbels.**

| Abstand in Pariser Linien | Zweifach empfunden | Einfach empfunden | Unentschieden | Absolute Zahl der Versuche |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 7.5 | 92.5 | | 55 |
| 3 | 2.7 | 94.6 | 2.7 | 79 |
| 4 | 9.4 | 89.1 | 1.5 | 75 |
| 5 | 16.6 | 75.7 | 7.7 | 79 |
| 6 | 25.6 | 71.8 | 2.6 | 78 |
| 7 | 31 | 67 8 | 1.2 | 84 |
| 8 | 54.4 | 42.8 | 2.8 | 77 |
| 10 | 74 | 22.2 | 3.8 | 82 |
| 12 | 83.4 | 15.1 | 1.5 | 79 |
| 14 | 92.2 | 7.8 | | 78 |
| 16 | 100 | | | 70 |

Gesammtzahl = 836

**H. 6. Vierter bis fünfter Halswirbel.**

| Abstand in Pariser Linien | Zweifach empfunden | Einfach empfunden | Unentschieden | Absolute Zahl der Versuche |
|---|---|---|---|---|
| 0 | | 100 | | 43 |
| 3 | 3.5 | 96.5 | | 62 |
| 4 | 11.3 | 88.7 | | 63 |
| 5 | 21 | 79 | | 62 |
| 6 | 39.6 | 53.9 | 6.5 | 63 |
| 7 | 40.6 | 48.4 | 11 | 64 |
| 8 | 62.4 | 31.2 | 6.4 | 64 |
| 10 | 85.6 | 14.4 | | 63 |
| 12 | 98 5 | 1.5 | | 67 |
| 14 | 98.5 | 1.5 | | 65 |
| 16 | 100 | | | 66 |

Gesammtzahl = 682

**H. 7. Zweiter Halswirbel.**

| Abstand in Pariser Linien | Zweifach empfunden | Einfach empfunden | Unentschieden | Absolute Zahl der Versuche |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 3 | 97 | | 68 |
| 2 | 5.4 | 94.6 | | 74 |
| 3 | 5.4 | 91.8 | 2.8 | 76 |
| 4 | 20.2 | 78.6 | 1.2 | 84 |
| 5 | 35 | 65 | | 80 |
| 6 | 51.8 | 48.2 | | 81 |
| 7 | 59.2 | 39.4 | 1.4 | 76 |
| 8 | 80.8 | 14 | 5.2 | 79 |
| 10 | 97.2 | 2.8 | | 79 |
| 12 | 100 | | | 79 |
| 14 | 100 | | | 78 |

Gesammtzahl = 854

In der nachfolgenden Tabelle II (Seite 88 u. 89) sind die Versuchsergebnisse in der Art leicht übersichtlich gemacht, dass (nach dem schon oben angegebenen Verfahren) für jede Einzellokalität diejenigen Abstände der Nadelpaare angegeben sind, welche der Reihe nach 5—10—15 u. s. w. bis 100 Prozent Doppelempfindungen entsprechen.

Aus den Stumpfheitswerthen der Tabelle II sind in der nachfolgenden Tabelle III die Empfindlichkeitswerthe des Raumsinnes berechnet, die sich umgekehrt wie die Stumpfheitswerthe verhalten. Während nach den Messungen meiner Vorgänger die Einzellokalitäten des Kopfes, sowie der Gliedmaassen, namentlich der oberen, sehr grosse Unterschiede in der Entwicklung des Raumsinns zeigen, entsprechend den grossen Unterschieden sowohl der Ausgiebigkeit als der Geschwindigkeit ihrer Bewegungen, so bieten die verschiedenen Stellen des Rumpfes und des Halses nur geringe Unterschiede dar. Wird die Feinheit des Raumsinns der unempfindlichsten Stelle (S. 5 des Rumpfes) = 100 gesetzt, so ist der relative Empfindlichkeitswerth der bevorzugtesten Stelle (*V.* 9 über dem oberen Rand des Thyreoidknorpels) blos 225.

Prof. v. Vierordt's Theorie verlangt, dass die Haut des Halses gegenüber der des Rumpfes entschieden bevorzugt ist. In der That zeigen die 4 von mir untersuchten Stellen des Halses die grösste Empfindlichkeit und zwar nimmt dieselbe, wie die Theorie ebenfalls verlangt, zu in der Richtung gegen den Kopf. Die oberen Theile des Halses bieten, der Hals mag für sich bewegt werden, oder blos den Bewegungen des Rumpfes folgen, unter allen Umständen grössere Excursionen als die unteren.

*V.* 9 ist mit 225 ein wenig bevorzugt gegen *V.* 8 mit 224; ebenso *H.* 7 mit 223 gegen *H.* 6 mit 189. Die mässige Bevorzugung der Vorderseite des Halses gegenüber der Hinterseite scheint darin begründet zu sein, dass die Haut der Vorderseite bei Beugung und Streckung des Halses Verschiebungen erleidet, welche auf der Hinterseite nicht vorkommen. Auch folgt die Haut der Vorderseite des Halses den Horizontaldrehungen des Kopfes ein wenig, was bei der Hinterseite wiederum nicht der Fall ist. Diese

**Tabelle II.**

| | | 5% | 10% | 15% | 20% | 25% | 30% | 35% | 40% | 45% | 50% | 55% | 60% |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| V. 1 | Symphys. pub. | | 5.5 | 7.2 | 7.7 | 8.1 | 8.5 | 8.8 | 9.1 | 9.4 | 9.8 | 10.1 | 10.5 |
| V. 2 | Mitte zwischen Nabel u. Symphys. pub. | 4.3 | 4.8 | 5.5 | 6.2 | 7.1 | 7.4 | 7.6 | 7.9 | 8.4 | 8.9 | 9.3 | 9.8 |
| V. 3 | Nabel. | 4.6 | 5.3 | 5.8 | 6.4 | 7.1 | 7.4 | 7.7 | 8.0 | 8.3 | 8.6 | 9.0 | 9.4 |
| V. 4 | Mitte zw. Nabel u. Proc. ensifor | 6.2 | 6.8 | 7.4 | 8.0 | 8.3 | 8.5 | 8.7 | 9.0 | 9.3 | 9.5 | 9.8 | 10.0 |
| V. 5 | Proc. ensiform. | 5.4 | 7.1 | 7.8 | 8.6 | 9.7 | 10.3 | 10.7 | 1.2 | 11.6 | 12.1 | 12.5 | 12.9 |
| V. 6 | Mitte d. Brustb. | | | 4.1 | 4.9 | 6.0 | 6.5 | 6.9 | 7.5 | 8.1 | 8.3 | 8.6 | 8.8 |
| V. 7 | Incisur. semilunar. sterni. | 4.2 | 5.0 | 5.4 | 5.9 | 6.3 | 6.6 | 6.9 | 7.3 | 7.8 | 8.2 | 8.5 | 8.9 |
| V. 8 | Hals. Mitte zw. Incis. cart. thyreoid. u. Incisur. semi lunar. sterni. | 3.3 | 4.0 | 4.4 | 4.9 | 5.2 | 5.4 | 5.7 | 5.9 | 6.3 | 6.7 | 7.1 | 7.3 |
| V. 9 | Hals. Incisura cart. thyreoid. | 3.3 | 3.8 | 4.3 | 4.9 | 5.3 | 5.6 | 5.9 | 6.2 | 6.6 | 7.0 | 7.1 | 7.3 |
| S. 1 | Ueber dem Pfannenrande. | 4.1 | 5.3 | 6.4 | 7.2 | 7.7 | 8.2 | 8.9 | 9.6 | 10.2 | 10.5 | 10.8 | 11.1 |
| S. 2 | Unt. d. Crista oss ilei auf d. Höhe v. V. 2. | 4.4 | 5.4 | 6.0 | 6.7 | 7.3 | 7.7 | 8.3 | 9.0 | 9.7 | 10.3 | 10.8 | 11.4 |
| S. 3 | Auf d. Höhe des Nabels. | 4.2 | 6.5 | 7.2 | 7.7 | 9.0 | 10.4 | 11.5 | 12.5 | 13.4 | 14.2 | 15.0 | 15.8 |
| S. 4 | Auf der Höhe von V. 4. | | 7.3 | 7.7 | 8.1 | 8.8 | 9.5 | 10.2 | 10.9 | 11.5 | 12.3 | 13.1 | 14.0 |
| S. 5 | Auf d. Höhe d. Proc ensiform. (7. Rippe.) | | 7.8 | 8.4 | 9.1 | 9.8 | 0.5 | 11.1 | 11.7 | 12.6 | 13.7 | 14.7 | 15.7 |
| S. 6 | Auf der Höhe von V. 6. | 5.2 | 5.9 | 6.4 | 6.8 | 7.2 | 7.[illegible] | 7.8 | 8.0 | 8.5 | 9.2 | 9.8 | 10.5 |
| S. 7 | U d. Clavicul. | 4.3 | 5.8 | 6.7 | 7.1 | 7.4 | 7.6 | 7.9 | 8.6 | 9.7 | 10.5 | 11.0 | 11.6 |
| H. 1 | Ueb. d. Steissb. | 5.4 | 6.5 | 7.1 | 7.3 | 7.4 | 7.6 | 7.8 | 8.4 | 10.1 | 10.5 | 11.0 | 11.4 |
| H. 2 | Auf dem 5. Lumbalwirb. | 5.8 | 6.7 | 7.2 | 7.5 | 7.9 | 8.5 | 9.2 | 10.0 | 10.3 | 10.6 | 11.1 | 11.4 |
| H. 3 | Unterh. d. 12. Brustwirbels. | 5.2 | 6.1 | 6.9 | 7.8 | 8.4 | 8.8 | 9.3 | 9.8 | 10.2 | 10.5 | 10.9 | 11.2 |
| H. 4 | 6. Brustwirb. | 5.1 | 6.4 | 7.7 | 7.7 | 8.2 | 8.9 | 9.6 | 10.3 | 11.0 | 11.6 | 12.2 | 12.8 |
| H. 5 | Unterh. d. 7. Halswirbels. | 3.3 | 4.0 | 4.8 | 5.4 | 6.0 | 6.8 | 7.2 | 7.4 | 7.6 | 7.8 | 8.1 | 8.6 |
| H. 6 | [illegible].—5. Halsw. | 3.1 | 3.8 | 4.4 | 4.9 | 5.2 | 5.5 | 5.7 | 6.5 | 7.2 | 7.4 | 7.6 | 7.9 |
| H. 7 | 2. Halswirbel. | | 3.3 | 3.7 | 4.0 | 4.3 | 4.7 | 5.0 | 5.3 | 5.6 | 5.9 | 6.4 | 7.1 |

## Generalübersicht über die Versuchsergebnisse.

| 65% | 70% | 75% | 80% | 85% | 90% | 95% | 100% | Summen d. Horizontalreihen v. 25%—50% | Summen d. Horizontalreihen v. 55%—100% |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 10.9 | 11.3 | 11.7 | 12.1 | 12.7 | 13.2 | 13.8 | 16.0 | 53.7 (15) | 122.3 (11) |
| 10.3 | 10.7 | 11.1 | 11.6 | 12.3 | 14.2 | 15.2 | 16.0 | 47.3 (9) | 120.5 (9) |
| 9.8 | 10.2 | 10.6 | 11.0 | 11.5 | 12.0 | 14.4 | 16.0 | 47.1 (8) | 113.9 (8) |
| 10.5 | 11.0 | 11.5 | 12.0 | 12.8 | 13.7 | 14.7 | 16.0 | 53.3 (14) | 122.0 (10) |
| 13.4 | 13.8 | 14.4 | 15.0 | 15.4 | 16.1 | 17.3 | 20.0 | 65.6 (21) | 150.8 (17) |
| 9.1 | 9.4 | 9.6 | 9.9 | 12.2 | 13.0 | 13.8 | 16.0 | 43.3 (7) | 110.4 (6) |
| 9.4 | 9.8 | 10.3 | 10.7 | 11.1 | 11.5 | 12.3 | 15.0 | 43.1 (6) | 107.5 (5) |
| 7.4 | 7.6 | 7.8 | 8.1 | 8.7 | 9.2 | 9.7 | 12.0 | 35.2 (2) | 84.9 (3) |
| 7.4 | 7.6 | 7.7 | 7.8 | 8.0 | 8.5 | 9.4 | 12.0 | 36.6 (3) | 82.8 (1) |
| 11.5 | 11.8 | 12.8 | 14.1 | 15.0 | 15.8 | 18.1 | 20.0 | 55.1 (16) | 141.0 (14) |
| 11.9 | 12.7 | 13.4 | 14.3 | 15.3 | 16.3 | 17.3 | 20.0 | 52.3 (13) | 143.4 (15) |
| 16.6 | 17.6 | 18.3 | 18.7 | 19.1 | 19.7 | 21.0 | 24.0 | 71.0 (23) | 185.8 (22) |
| 14.6 | 15.3 | 15.9 | 17.0 | 18.2 | 19.0 | 19.9 | 22.0 | 63.2 (20) | 169.0 (21) |
| 16.7 | 17.8 | 18 4 | 18.9 | 19.4 | 19.8 | 21.1 | 24.0 | 69.4 (22) | 186.5 (23) |
| 11.2 | 12.0 | 13.3 | 14.4 | 15.0 | 15.7 | 16.7 | 18.0 | 48.2 (10) | 136.6 (12) |
| 12.8 | 14.2 | 14.8 | 15.5 | 16.2 | 17.1 | 18.0 | 20.0 | 51.7 (11) | 151.2 (18. 19) |
| 11.8 | 12.8 | 14.1 | 15.3 | 16.4 | 17.4 | 19.0 | 22.0 | 51.8 (12) | 151.2 (18. 19) |
| 11.7 | 12.3 | 13.6 | 14.6 | 15.5 | 16.8 | 18.5 | 20.0 | 56.5 (17) | 145.5 (16) |
| 11.6 | 11.9 | 12.7 | 13.8 | 14.8 | 15.7 | 17.0 | 20.0 | 57.0 (18) | 139.6 (13) |
| 13.5 | 14.1 | 14.7 | 15.4 | 16.0 | 17.0 | 17.9 | 20.0 | 59.6 (19) | 158.6 (20) |
| 9.1 | 9.6 | 10.2 | 11.3 | 12.3 | 13.5 | 14.7 | 16.0 | 42.8 (5) | 113.4 (7) |
| 8.2 | 8.6 | 9.1 | 9.5 | 9.9 | 10.6 | 11.4 | 16.0 | 37.5 (4) | 98.8 (4) |
| 7.3 | 7.5 | 7.8 | 8.0 | 8.5 | 9.1 | 9.7 | 12.0 | 30.8 (1) | 83.4 (2) |

mässigen Verschiebungen der Haut der Vorderseite des Halses dürften die geringe Bevorzugung derselben genügend erklären.

Sehr gering sind die Unterschiede der Feinheit des Ortssinnes in den verschiedenen Partieen des Rumpfes, indem die empfindlichste Stelle *V* 7 (Haut am oberen Ende des Brustbeins) mit dem relativen Empfindlichkeitsmaass 174 blos um 3 Viertheile leistungsfähiger ist, als die unempfindlichste (S. 5) mit dem Empfindlichkeitsmaass 100. Sehen wir ab von dem Unterschenkel, der eigenthümliche Verhältnisse bietet, so steht bezüglich geringer Raumsinnsdifferenzen in ihren Einzelterritorien nur eine Körperabtheilung, die Haut des Oberarmes, hinter dem Rumpfe zurück, indem, wie die Herren Kottenkamp und Ullrich fanden, die relativen Empfindlichkeitsmaasse am oberen und unteren Ende des Oberarmes sich blos wie 100 : 135 verhalten.

Die von mir gefundenen geringen Unterschiede des Raumsinns im ganzen Bereich der ein so grosses Areal einnehmenden Rumpfhaut weisen auf entsprechend geringe Unterschiede der Abstände der Einzellokalitäten der Rumpfhaut von sämmtlichen, bei den Rumpfbewegungen in Frage kommenden Rotationsaxen hin. In Tabelle III sind die Abstände der Hautstellen von den wichtigsten Rotationsaxen, welche bei den Rumpfbewegungen maassgebend sind, angegeben. Die Conturen meines Rumpfes und Halses wurden auf einem Glas genau nachgezeichnet und in die Zeichnung die einzelnen Versuchsstellen eingetragen. Die Zeichnung wurde in 4.8 facher Verkleinerung angefertigt und die Abstände der Hautstellen von den einzelnen Axen (in Millimetern) an der Zeichnung unmittelbar bestimmt. Eine Reduction auf die wahren Dimensionen hielt ich für überflüssig. Der Abstand der Versuchsstelle *H* 5 von der Axe des Fussgelenkes ist (nach Columne *a* der Tabelle III) 292 Millimeter, also der wahre Abstand $292 \times 4.8 = 1401$ Mm.; die direkte Messung ergab: Abstand der Axe des Fussgelenkes von der Axe im Hüftgelenk 877 und Abstand der letzteren Axe von Versuchsstelle *H* 5 = 535, also zusammen 1412 Mm.

Von den zahlreichen Axen, um welche Rumpf und Hals unmittelbar rotiren, sind folgende die wichtigsten:

1) Das Fussgelenk, beim Stehen. Der Rumpf folgt hier den Bewegungen der Beine und zwar mit grossen Ausschlägen. Die Abstände meiner einzelnen Versuchsstellen von der Axe des Fussgelenkes sind in der senkrechten Reihe *a* der Tabelle III angegeben.

2) Die Rotationen des Rumpfes um die Axe des Hüftgelenks. Ich bringe hier nur diejenigen in Anschlag, welche sich auf Streckung und Beugung des Rumpfes beziehen. Die betreffenden Werthe sind in der Reihe *b* der Tabelle III angegeben; diese Werthe können ohne wesentlichen Fehler auch auf die so häufigen Vorwärts- und Rückwärtsbewegungen des Rumpfes bezogen werden, welche wir beim Sitzen vollführen, wobei der Rumpf auf die Tubera ischii sich stützt.

Von vielen anderen Rumpfbewegungen müssen wir absehen; dieselben sind entweder viel seltener als die eben besprochenen, oder sie haben das Eigenthümliche, dass während der vollführten Bewegungen sämmtliche Punkte der Rumpfhaut nur geringe Unterschiede in der Ausgiebigkeit ihrer Bewegungen zeigen. Letzteres ist z. B. der Fall bei den Drehungen des Rumpfes, resp. Körpers, um seine Längsaxe; das Hinzunehmen der betreffenden Werthe zu den *a*- und *b*-Werthen würde das Verhältniss der letzteren nicht wesentlich ändern. Die Seitwärtsbewegungen des Rumpfes mussten ebenfalls unberücksichtigt bleiben; sie sind nicht blos sehr viel seltener, als die *a*- und *b*-Bewegungen, sondern es sind auch die dabei beschriebenen Excursionen der Hautstellen den bei den *a*- und *b*-Bewegungen vollführten annähernd proportional. Ebenso können die Rotationen des Körpers (besonders Vorwärts- und Rückwärtsneigungen) in der knieenden Stellung als gar zu selten nicht in Betracht kommen. Beim Liegen machen wir bei unterstütztem Obertheil des Rumpfs dann und wann Bewegungen, wobei die unteren Theile des Rumpfes und das Becken grössere Räume beschreiben als die oberen Rumpfstellen. Auch diese Bewegungen können, als seltenere, kaum in Rechnung kommen; gleichwohl aber ist zuzugeben, dass alle diese selteneren Bewegungen zusammengenommen den Einfluss der häufigeren etwas modifiziren, ja demselben sogar in mässigem Grad entgegenwirken können.

3) Eine eigenthümliche Rumpfbewegung darf aber bei unserer Betrachtung nicht wohl ausser Acht gelassen werden. Etwas stärkere Rückwärtsneigungen des Rumpfes beim Stehen sind häufig mit Beugung in den Kniegelenken verbunden, wobei das Becken nach vorwärts, der Obertheil des Rumpfes nach rückwärts sich bewegt. Es ist, als ob dabei der Rumpf um eine von rechts nach links gezogene Axe sich dreht, die ungefähr durch die beiden Rumpfstellen S. 5 gezogen werden kann; d. h. diese Rumpfstellen sind nunmehr von allen die relativ unbeweglichsten. Dasselbe ist der Fall bei mässigen Vorwärtsneigungen des Rumpfes, wobei das Becken sich nach rückwärts bewegt. Columne *c* der Tabelle III gibt die Abstände meiner einzelnen Versuchsstellen von dieser Axe an. Die letzte Verticalcolumne gibt die Summen der Ausschläge, welche die Hautstellen bei den *a*-, *b*- und *c*-Bewegungen vollführen; diese Summen repräsentiren also die relativen Bewegungsexcursionen, welche die verschiedenen Theile des Rumpfes und Halses ausführen, wenn Rumpf und Hals als Ganzes bewegt werden.

Tabelle III.

Relative Empfindlichkeitsmaasse der Haut des Rumpfes und des Halses.

| Körperstelle. | | Empfindlichkeitsmaasse. | Abstand von d. Axe des Fussgelenkes. *a* | Abstand von d. Axe des Hüftgelenkes. *b* | Abstand von der Rumpfstelle S. 5. *c* | Summen. $a+b+c$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| V. 1. | Symphysis pubis. | 152 | 187 | 31 | 67 | 285 |
| V. 2. | Mitte zwischen Nabel und Symphysis pubis. | 154 | 200 | 39 | 58 | 297 |
| V. 3. | Nabel. | 164 | 212 | 45 | 49 | 306 |
| V. 4. | Mitte zwischen Nabel u. Process. ensiform. | 153 | 228 | 59 | 39 | 326 |
| V. 5. | Processus ensiformis. | 124 | 246 | 71 | 28 | 345 |
| V. 6. | Mitte d. Brustbeines. | 169 | 266 | 88 | 30 | 384 |
| V. 7. | Incisura semilunar. sterni. | 174 | 283 | 105 | 42 | 430 |

| Körperstelle. | | Empfindlichkeitsmaasse. | Abstand von d. Axe des Fussgelenkes. $a$ | Abstand von d. Axe des Hüftgelenkes. $b$ | Abstand von der Rumpfstelle S. 5 $c$ | Summen. $a+b+c$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| V. 8. | Mitte zwischen Incisur. thyreoid. u. Incisur. semilunar. sterni. | 224 | 291 | 113 | 50 | 454 |
| V. 9. | Incisur. cartilag. thyreoid. | 225 | 301 | 122 | 60 | 483 |
| S. 1. | Ueber dem Pfannenrande. | 132 | 185 | 6 | 59 | 250 |
| S. 2. | Höhe von V. 2. | 130 | 197 | 18 | 47 | 262 |
| S. 3. | Höhe des Nabels. | 100.4 | 208 | 29 | 37 | 274 |
| S. 4. | Höhe von V. 4. | 110 | 227 | 47 | 18 | 292 |
| S. 5. | Höhe des Proc. ensiform. | 100 | 245 | 65 | 0 | 310 |
| S. 6. | Höhe von V. 6. | 136 | 264 | 84 | 19 | 367 |
| S. 7. | Unter der Clavicula. | 123 | 286 | 105 | 41 | 432 |
| H. 1. | Ueber dem Steissbein | 123 | 182 | 21 | 63 | 266 |
| H. 2. | Fünfter Lumbalwirbel. | 128 | 210 | 31 | 38 | 279 |
| H. 3. | Unterhalb des zwölften Brustwirbels. | 134 | 234 | 55 | 18 | 307 |
| H. 4. | Sechster Brustwirbel. | 121 | 262 | 82 | 25 | 369 |
| H. 5. | Unterhalb des siebenten Halswirbels. | 165 | 292 | 111 | 47 | 450 |
| H. 6. | Vierter bis fünfter Halswirbel. | 189 | 298 | 118 | 52 | 468 |
| H. 7. | Zweiter Halswirbel. | 223 | 303 | 123 | 58 | 484 |

4) Der Hals wird aber auch für sich bewegt, wobei der Rumpf ruhig oder ebenfalls in Bewegung begriffen sein kann. Die hohe Lage des Halses gegenüber dem Rumpf bedingt an sich schon grössere Werthe der Abstände seiner Einzellokalitäten von den Drehungsaxen (s. die Summe $a + b + c$ in Tabelle III); dazu kommen aber noch die Eigenbewegungen des Halses und das um so mehr, als sie in der Regel mit ziemlicher Schnelligkeit ausgeführt werden. Bei diesen Eigenbewegungen handelt es sich besonders

um 1) Vorwärts- und Rückwärtsneigung, also (um die complicirten Verhältnisse blos annähernd und kurz zu formuliren) Drehung des Halses um eine von rechts nach links durch den Körper des untersten Halswirbels gezogene Axe. 2) Die seitlichen Neigungen des Halses; also die Rotation um eine mediane Axe. 3) Die Horizontaldrehungen des Kopfes, wobei die vordere Halshaut sehr bemerklich den Kopfbewegungen nachfolgt. Den nummerischen Einfluss dieser Bewegungen auf die Ausbildung des Raumsinnes der Halshaut festzustellen, ist vorerst unmöglich; schon die in Tab. IV. gegebene Bestimmung der Abstände der von mir untersuchten Hautpunkte des Halses von den respectiven Drehungsaxen ist nur annähernd möglich.

Tabelle IV.

| Stelle der Halshaut. | Abstand von der Axe f. Beugung und Streckung des Halses. | Abstand von der Axe für Seitwärtsneigungen des Halses. | Summen a + b + c der Tabelle III. | Summen a + b + c + d + e. | Relatives Empfindlichkeitsmaass. |
|---|---|---|---|---|---|
| | d | e | f | g | |
| V. 8 | 17 | 10 | 454 | 481 | 224 |
| V. 9 | 25 | 21 | 483 | 529 | 225 |
| H. 6 | 10 | 8 | 468 | 486 | 189 |
| H. 7 | 12 | 15 | 484 | 511 | 223 |

Die grösste Empfindlichkeit zeigt die Halsstelle, die den grössten $g$-Werth hat; und wenn die Stelle der geringsten Empfindlichkeit (H. 6) einen etwas grösseren $g$-Werth zeigt, als die empfindlichere Stelle V. 8, so ist nicht zu übersehen, dass, wie ich oben ausgeführt habe, die vordere Halshaut gewisse Bewegungen erfährt, die an der hinteren nicht vorkommen.

5) Von den Eigenbewegungen einzelner Rumpftheile kommen vor allem die respiratorischen in Betracht, wie später dargethan werden soll.

Die Feinheit des Raumsinns ist in den oberen Rumpfpartieen im Allgemeinen grösser als in den unteren, eine Erscheinung, die von den (durch die Summenwerthe $a + b + c$ der Tabelle III repräsentirten) grösseren Bewegungsexcursionen des oberen Rumpfes

abhängt. Wenn meine 19 Versuchsstellen der Rumpfhaut, wie schon früher hervorgehoben wurde, so geringe Unterschiede der Ausbildung des Raumsinnes bieten, dass die Leistungen der zwei physiologisch differentesten Stellen sich blos wie 100 : 174 verhalten, so entsprechen dem auch im Ganzen und Grossen die geringen Differenzen der Bewegungsgrössen, indem die beiden extremsten Summenwerthe ($a + b + c$ Tab. III) sich auf 250 und 450 belaufen. Bei diesen geringen Unterschieden sowohl der Bewegungsexcursionen als auch der Feinheitswerthe des Raumsinnes kann ein genauer unmittelbarer Nachweis der Abhängigkeit der letzteren von den ersteren nicht erwartet werden, und das um so weniger, als noch Eigenbewegungen der Mehrzahl dieser Rumpfhautstellen auf den Enderfolg von einem gewissen Einfluss sind, Bewegungen, deren Grösse und Werthigkeit wir aber vorerst nicht näher kennen. Die Analyse der Raumsinnsempfindlichkeitswerthe der Rumpfhaut muss sich also vorerst mit dem allgemeinen Nachweis begnügen, dass auch hier dieselben Gesetze walten, welche bei der Ausbildung des Raumsinnes in den übrigen Körpertheilen maassgebend sind.

Die vordere Medianlinie der Rumpfhaut ist, wie ein Ueberblick der Tab. III sogleich zeigt, gegenüber der hinteren Medianlinie oder gar den Seitenpartieen der Rumpfhaut etwas bevorzugt; die durchschnittlichen Empfindlichkeitswerthe sind:

| | | |
|---|---|---|
| an der vorderen Medianlinie | (7 Versuchsstellen) | 156 |
| an der hinteren „ | (5 „ ) | 134 |
| an der Seitenlinie | (7 „ ) | 119 |

Die durchschnittlichen Summenwerthe ($a + b + c$ Tab. III) für diese 3 Reihen meiner Versuchsstellen sind 339 (V.), 334 (H.) und 312 (S); d. h. die durchschnittlichen Bewegungsexcursionen sämmtlicher Versuchsstellen der genannten 3 Reihen von Hautpunkten, insoweit es sich um die Bewegungen des Rumpfes als Ganzes handelt, sind einander gleich oder nahezu gleich. Die allerdings nur geringen Empfindlichkeitsunterschiede müssen also von Eigenbewegungen dieser Hautstellen abhängen, unter welchen die respiratorischen die wichtigsten sind.

Die respiratorischen Bewegungen sind bekanntlich an den Hautstellen der vorderen Medianlinie stärker als an den Seitentheilen

des Rumpfes, während sie an der hinteren Medianlinie gänzlich wegfallen. Diese Thatsache erklärt die mässige Bevorzugung der vorderen Medianlinie zur Genüge. In dieser Linie nimmt die Feinheit des Raumsinnes zu in der Richtung nach aufwärts, entsprechend der Zunahme der Bewegungsexcursionen bei den Rumpfbewegungen als Ganzes. Von den 7 Versuchsstellen bieten blos 2 (V. 4 u. V. 5) Ausnahmen, welche, wie ich glaube, einer Erklärung fähig sind. V. 3, die Stelle über dem Nabel, macht die stärksten Bewegungen bei dem gewöhnlichen, abdominellen Athmen des Mannes; von den geringeren respiratorischen Bewegungen von V. 4 dürfte der im Vergleich zu V. 3 um $^1/_{16}$ geringere Ortsinnswerth abhängen. Leider fehlt es noch sehr an brauchbaren, nach vorwurfsfreien Methoden ausgeführten Messungen der Grösse der respiratorischen Bewegungen der verschiedenen Regionen des Thorax und Abdomens. Beim Abdominalathmen sind die Bewegungen der Thoraxhaut höchst unbedeutend, ja nahezu Null; beim thoracischen Athmen dagegen geben die oberen Partien des Brustkorbes stärkere Ausschläge als die unteren. Die Haut über dem Processus ensiformis betheiligt sich also bei beiden Formen der Athembewegungen nur wenig; ihr Raumsinnswerth muss desshalb relativ gering sein, geringer als in den höher gelegenen Stellen V. 6 und V. 7 der Sternalhaut, welche sowohl stärkere Athembewegungen als auch grössere Ausschläge bieten, wenn der Rumpf als Ganzes sich bewegt. Der geringere Raumsinnswerth von V. 5, im Vergleich zu V. 4, scheint demnach, obschon V. 5 grössere Ausschläge bei den Rumpfbewegungen als Ganzes macht, von der Bevorzugung von V. 4 bei den respiratorischen Bewegungen abzuhängen.

Die seitlichen Rumpfstellen (Reihe S.) zeigen geringere Werthe als die vorderen medianen, eben wegen ihrer (nach Sibson's Messungen) viel geringeren respiratorischen Bewegungen. Die am tiefsten gelegenen Versuchsstellen S. 1 und S. 2 übertreffen um $^1/_8$ die Ortsinnswerthe der höher gelegenen Stellen S. 3 bis S. 5; dabei ist aber nicht zu übersehen, dass erstere, vor Allem S. 1, auch Bewegungen vollführen, welche diejenigen der unteren Extremität begleiten; die sehr nahe über der Axe des Hüftgelenkes gelegene Rumpfstelle S. 1 folgt in der That den Bewegungen des Beines

ganz deutlich. Es kommen also hier neue Eigenbewegungen hinzu, die an der übrigen Rumpfhaut fehlen.

Die Haut der hinteren Medianlinie des Rumpfes zeigt zunehmende Feinheitswerthe des Raumsinnes in der von der Theorie geforderten Richtung nach aufwärts, mit blos einer Ausnahme (H. 4). Bei starker Vorwärtsneigung des Rumpfes erleidet die Rückenhaut eine bemerkenswerthe Dehnung in der Längsrichtung, die erheblich stärker ist, als an den seitlichen Rumpfstellen. Diese Längsdehnung ist in der Gegend der Brustwirbel (H. 4) entschieden geringer als in H. 1 bis H. 3, womit vielleicht der geringere Raumsinnswerth von H. 4 zusammenhängt.

Die in Bezug auf den Ortssinn am wenigsten leistende Stelle der Rumpfhaut ist nach meinen Messungen S. 5, mit dem (s. Tab.II) Stumpfheitswerthe 186.5. Bloss zwei unter den zahlreichen im hiesigen physiologischen Institut geprüften Körperlokalitäten zeigen noch grössere Stumpfheitswerthe. Am Oberschenkel erhielt Paulus[1]) auf der Höhe der Axe des Hüftgelenkes und an der Hautstelle 6 Ctm. unterhalb dieser Axe Stumpfheitswerthe von 212 und 194.4. Es war von Interesse, nachzuforschen, ob auch bei mir diese Lokalität weniger leistet, als Rumpfstelle S. 5. Ich experimentirte an einer Stelle der Vorderseite des Oberschenkels, die 5 Ctm. unterhalb der Axe des Hüftgelenkes liegt, also mit der zweiten Versuchsstelle von Paulus nahezu zusammenfällt. 1116 Versuche ergaben einen Stumpfheitswerth von 189.9. Der Unterschied meiner Zahl von der von Paulus (194.4) ist ein kaum nennenswerther. Es darf demnach mit aller Bestimmtheit die Haut am oberen Ende des Oberschenkels als die mit geringstem Ortssinn begabte Körperstelle bezeichnet werden.

Ich will nicht unterlassen zu bemerken, dass jetzt 2 Erfahrungen vorliegen von Prüfungen des Raumsinnes derselben Körperstelle an 2 verschiedenen Individuen. Schon oben habe ich Gelegenheit gehabt, hervorzuheben, dass ich an der Vertebra prominens genau denselben Raumsinnswerth fand, wie Riecker in seiner Arbeit über die Kopfhaut. Die fernere Uebereinstimmung meiner

1) Zeitschrift für Biologie, 1871, S. 237.

Messungen mit solchen von Paulus gibt das beste Criterium der Genauigkeit der Raumsinnsbestimmungen, vorausgesetzt, dass sie nach der allein streng wissenschaftlichen Methode der „richtigen und falschen Fälle" und nicht nach der, blos beiläufige Zahlen gebenden Methode, „des eben merklichen Unterschiedes" ausgeführt werden. Der Tastsinn ist somit eine Funktion, welche der messenden Methode so gut zugänglich ist, wie irgend eine sonstige Verrichtung unseres Körpers.

Eine der von mir untersuchten Körperregionen, die Vorderseite des Halses, bietet eine passende Gelegenheit, um schliesslich noch eine theoretische Frage, die für die Raumsinnsphysiologie von erheblicher Wichtigkeit ist, zu beantworten. In der vorderen Medianlinie des Halses zeigt die über dem oberen Rande des Schildknorpels gelegene Versuchsstelle V. 9, nach Tab. II, einen Stumpfheitswerth von 82.8. Sämmtliche bisher besprochenen Versuche stellte ich in der Art an, dass die 2 berührten Hautpunkte immer in der Querrichtung des Rumpfes, resp. Halses lagen.

In einer besonderen Versuchsreihe wurde mittelst 391 Messungen auch die Feinheit des Raumsinnes an gedachter Stelle V. 9 des Halses in der Längsrichtung bestimmt. Der Hals hatte die gewöhnliche mittlere Lage. Der betreffende Stumpfheitswerth war 86.4. Schon E. H. Weber hat bekanntlich nachgewiesen, dass der Raumsinn in der Querrichtung der Theile (Extremitäten, Rumpf) etwas feiner entwickelt ist, als in der Längsrichtung.[1] Die vordere Halshaut ist diejenige Region der allgemeinen Bedeckungen, welche die grössten momentanen Dehnungen erfährt.

Ich stellte nun eine zweite Versuchsreihe (435 Einzelmessungen) an, um die Feinheit des Raumsinnes der Stelle V. 9 ebenfalls in der Längsrichtung, jedoch bei gedehnter Haut zu untersuchen. Der Hals wurde derartig nach rückwärts bewegt, dass 2, durch kleine Flecken markirte Hautpunkte nunmehr noch einmal soweit von einander abstanden, als in der gewöhnlichen Stellung des Halses

---

1) Dass dabei die in der Querrichtung in der Regel etwas grössere Krümmung der Hautoberfläche einen die Querrichtungsversuche begünstigenden Einfluss hat, wurde übrigens schon von Paulus hervorgehoben.

bei nicht gedehnter Haut. Der unter diesen Verhältnissen beobachtete Stumpfheitswerth war 93.5.

In den nachfolgenden Tabellen gebe ich die Einzeldata dieser 2 Versuchsreihen.

### Tabelle V.

Nichtgedehnte Halshaut am oberen Rande des Schildknorpels.
(Längsrichtung.)

| Abstand in Pariser Linien. | Zweifach empfunden. | Einfach empfunden. | Absolute Zahl der Versuche. |
|---|---|---|---|
| 0 | | 100 | 24 |
| 3 | | 100 | 40 |
| 4 | 10.5 | 89.5 | 38 |
| 5 | 19.6 | 80.4 | 46 |
| 6 | 31.9 | 68.1 | 47 |
| 7 | 48.7 | 51.3 | 47 |
| 8 | 78.0 | 22.0 | 46 |
| 10 | 95.2 | 4.8 | 42 |
| 12 | 100 | | 41 |
| 14 | 100 | | 20 |

Gesammtzahl = 391.

Gedehnte Halshaut am oberen Rande des Schildknorpels.
(Längsrichtung.)

| Abstand in Pariser Linien. | Zweifach empfunden. | Einfach empfunden. | Absolute Zahl der Versuche. |
|---|---|---|---|
| 0 | | 100 | 28 |
| 3 | | 100 | 40 |
| 4 | 9.4 | 90.6 | 43 |
| 5 | 19.3 | 80.7 | 47 |
| 6 | 31.2 | 68.8 | 48 |
| 7 | 50.0 | 50.0 | 48 |
| 8 | 63.3 | 36.7 | 49 |
| 10 | 93.1 | 6.9 | 44 |
| 12 | 97.8 | 2.2 | 44 |
| 14 | 100 | | 44 |

Gesammtzahl = 435.

In der nachfolgenden Tabelle, die analog der Tabelle II angelegt ist, sind die Abstände zweier berührter Hautpunkte, welche bestimmte % Zahlen von Doppelempfindungen ergeben, aufge-

führt. Ich beschränke mich auf die Kategorien von 55 % richtiger Fälle nach aufwärts bis 100 %. Zur Vergleichung setze ich aus Tabelle II die an derselben Versuchsstelle erhaltenen Werthe bei, welche sich auf die Experimente in der Querrichtung beziehen.

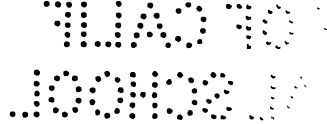
### Tabelle VI.

Halshaut am oberen Rande des Schildknorpels.

| | Querrichtung. | Längsrichtung | |
|---|---|---|---|
| | | ohne Dehnung der Haut. | mit Dehnung der Haut. |
| 55 % | 7.1 | 7.3 | 7.4 |
| 60 % | 7.3 | 7.4 | 7.7 |
| 65 % | 7.4 | 7.6 | 8.1 |
| 70 % | 7.6 | 7.7 | 8.4 |
| 75 % | 7.7 | 7.9 | 8.7 |
| 80 % | 7.8 | 8.3 | 9.1 |
| 85 % | 8.0 | 8.8 | 9.5 |
| 90 % | 8.5 | 9.4 | 9.8 |
| 95 % | 9.4 | 10.0 | 10.8 |
| 100 % | 12.0 | 12.0 | 14.0 |
| Summen der Stumpfheitswerthe. | 82.8 | 86.4 | 93.5 |

Die Leistungen des Raumsinnes erleiden demnach eine, jedoch nur kleine Einbusse, wenn die Haut stark gedehnt wird. Das vergleichbare Empfindlichkeitsmaass bei nicht gedehnter Haut ist nämlich 108 $\left(\frac{93.5}{86.4}\right)$, wenn dasjenige der gedehnten Haut = 100 gesetzt wird.

Zwei in einem bestimmten, nicht zu grossen, Abstand befindliche Hautstellen *a* und *b* geben bei der gewöhnlichen Spannung der Haut eine bestimmte % Zahl Doppelempfindungen. Ist die Haut aber gedehnt, so dass *a* und *b* nunmehr den doppelten Abstand zeigen, so ist an der zwischen *a* und *b* befindlichen Zahl Nervenfasern natürlich nichts verändert. Würde nun bei diesen Perceptionen ein vorweg eingerichteter Mechanismus, bei welchem vor allem die Zahl der Nervenfasern der Hautstelle die Hauptrolle spielen würde, maassgebend sein, so müssten die jetzt um das



Doppelte von einander entfernten Hautpunkte *a* und *b* dieselbe procentige Zahl Doppelempfindungen geben, wie vorher bei nicht gedehnter Haut, also beim normalen, um die Hälfte kleineren Abstande. Die Feinheit des Raumsinnes müsste also bei gedehnter Haut auf die Hälfte des normalen Werthes herabgesetzt sein. Dieses ist aber nicht der Fall; die Einbusse, welche der Raumsinn unter den genannten Bedingungen erleidet, ist nur eine geringe, sie beträgt blos 8%. An einer bestimmten Hautstelle, die Einzelpunkte derselben mögen die normalen mittleren Abstände zeigen, oder durch Dehnung erheblich von einander entfernt sein, wird demnach nahezu derselbe objektive Abstand in gleicher Weise percipirt. Diese Erfahrung beweist aufs Neue, dass wie die Theorie Prof. v. Vierordt's verlangt, die Zuständlichkeiten der Hautstellen, d. h. deren Verwendungsweise im Dienste des Tastsinnes, einzig und allein maassgebend sind bei der Gestaltung und Ausbildung des Raumsinnes in den einzelnen Lokalitäten der allgemeinen Bedeckungen.

---

# Ueber die Mengen des Auswurfes bei verschiedenen Erkrankungen des Respirationsorganes.

Von

Dr. Friedrich Renk.

Während meiner Thätigkeit als klinischer Praktikant auf der Klinik des nun leider verstorbenen Professors Dr. von Lindwurm hatte sich mir bei Untersuchung der Sputa häufig der Gedanke aufgedrängt, ob denn, und in wie weit die scheinbar grossen Mengen Auswurf, welche man bei chronischen Bronchitiden, bei Phthisis pulmonum, oder bei Pneumonie beobachtet, von Bedeutung sein können für die Ernährung solcher Kranken — ob also die Abmagerung und Entkräftung derselben zum Theile auf den Stoffverlust durch den Auswurf zu beziehen sind, oder ob der dadurch bedingte Ausfall verschwindend klein ist gegenüber den übrigen Verlusten des Körpers.

So wichtig es, wie man leicht einsieht, ist, eine bestimmte Vorstellung über diese Verhältnisse zu gewinnen, so habe ich doch nirgends in der Literatur genauere Angaben hierüber angetroffen; nur ganz vereinzelt und zufällig findet sich in der einen oder anderen Abhandlung eine Zahl über die Quantitäten des Auswurfs. Ich kam daher gern der Aufforderung des Hrn. Prof. Voit nach, in seinem Laboratorium eingehendere Untersuchungen über diese Frage anzustellen; ich sage demselben für die Unterstützung bei dieser Arbeit meinen besten Dank.

Um zu entscheiden, ob die Sputa einen beachtenswerthen Verlust am Körper bedingen, muss man zunächst wissen, in welcher Quantität dieselben in einem bestimmten Zeitabschnitte unter verschiedenen Verhältnissen abgesondert werden, und dann welche Zusammensetzung sie dabei haben.

In der Literatur fand ich über den ersteren Punkt, wie vorher erwähnt, fast gar keine Angaben vor; Bamberger erwähnt beiläufig, dass der von 24 Stunden gesammelte Auswurf in einem Falle von Bronchiektasie 27 Loth = 451 Grm. gewogen habe, und Biermer giebt an, dass die rostfarbigen Sputa bei der Pneumonie 1—7 Unzen = 30—210 Grm. für 24 Stunden betragen und dass die Menge der Sputa während der Lösungsperiode gewöhnlich reichlicher sei und bis zu 8—10 Unzen = 240—300 Grm. steigen könne.

Es sind dagegen sehr viele Analysen über die Zusammensetzung der verschiedenen Sputa angestellt worden. Es handelte sich dabei theils um die Aufsuchung der im Auswurfe enthaltenen Stoffe, theils um eine quantitative Bestimmung derselben.

Was die qualitative Zusammensetzung der Sputa anbelangt, so berichtet darüber Hoppe-Seyler[1]) in seinem Handbuche, dass dieselben von organischen Stoffen beim gewöhnlichen Catarrh in Essigsäure unlösliches Mucin und beim akuten Catarrh noch daneben in der Siedehitze gerinnendes Albumin enthalten; bei der pneumonischen Infiltration sollen sie einen eiweissartigen Körper einschliessen, welcher wohl der Gruppe des Myosins und der fibrinbildenden Substanzen angehört; unter den übrigen Bestandtheilen verzeichnet er die auch im Eiter vorgefundenen Substanzen: Fett, Lecithin, Cholestearin, Fettsäuren etc. etc.

Quantitative Analysen einzelner Sputa liegen in grosser Anzahl vor, allerdings die meisten derselben aus älterer Zeit stammend. Von den neueren erwähne ich nur die folgenden.

In dem Handbuche von Simon[2]) findet sich eine Analyse des bei entzündlicher Affektion der Schleimhaut der Respirationsorgane (acute Bronchitis?) abgesonderten Auswurfes, und zwar der darin enthaltenen Schleimballen, aus denen zuerst nach dem Trocknen mit Aether das Fett, dann mit verdünntem und concentrirtem Alkohol die Extraktivstoffe ausgezogen wurden, wonach der Rest

---

1) Hoppe-Seyler, Handbuch der physiologisch und pathologisch chemischen Analyse 1870. S. 342.

2) Simon, Handbuch der mediz. Chemie, 1842. Thl. 2. S. 311.

als Zellen, Schleimstoff und Albumin angesehen wurde. In der Flüssigkeit, in welcher die Schleimballen schwammen, war durch Essigsäure fällbarer Schleimstoff, und durch Salpetersäure und die Siedehitze fällbares Albumin nachzuweisen. In dem eiterhaltigen Lungenschleim zeigten die gleichen Proben weniger Schleimstoff und viel mehr Albumin an. — H. Nasse[1]) theilte eine Analyse des normalen Schleims der Luftwege mit, der von einem gesunden jungen Manne täglich am Morgen durch leichtes Räuspern während mehrerer Monate erhalten worden war. Aus der eingetrockneten Masse zog er durch Aether das Fett aus; das darnach in Wasser und Alkohol Lösliche bezeichnet er als Extraktivstoffe, das Unlösliche als Schleimstoff. Zum Nachweis des Eiweisses behandelte er den trockenen Rückstand mit Essigsäure und fällte aus der Lösung durch Neutralisirung, oder er schüttelte den frischen Schleim mit Wasser und fällte durch Sieden.

In dem Lehrbuche der physiologischen Chemie von Gorup-Besanez (S. 429) findet sich noch eine von Wright ausgeführte Analyse des Schleimes der Luftwege ohne Quellenangabe.

Eine ausführliche Arbeit über den Auswurf ist 1855 von Biermer[2]) erschienen, welche in einem ersten Kapitel die morphologischen und chemischen Bestandtheile der Sputa bespricht, im zweiten Kapitel die verschiedenen Sputa je nach dem Vorwalten von Schleim, Eiter oder Blut klassificirt, und im dritten Kapitel endlich quantitative Analysen von Sputis verschiedener Krankheiten giebt. Biermer beschränkte sich, der complicirten Zusammensetzung der Sputa halber, auf die Bestimmung des Wassers, der anorganischen und organischen Bestandtheile und der Extraktivstoffe. Indem er die eingetrocknete Masse mit Alkohol und dann mit kochendem Wasser erschöpfte, erhielt er die als Extraktivstoffe bezeichneten Stoffe; der darin unlösliche Rückstand war Schleimstoff, Eiweiss etc. Zum Nachweis von Mucin und Eiweiss schüttelte er die frische Masse mit Wasser, goss die überstehende Flüssigkeit ab, fällte mit Essigsäure

---

1) H. Nasse, über die Bestandtheile des normalen Schleimes der Luftwege; Journ. für pract. Chem. 1843. Bd. XXIX. S. 59.

2) Biermer, die Lehre vom Auswurfe, 1855.

das Mucin und durch Kochen nach dem Neutralisiren des Filtrates das Eiweiss. Er prüfte auch auf das nach der Alkoholfällung in Wasser lösliche Par- oder Metalbumin, indem er den Schleimstoff und die eiweissartigen Stoffe mit Alkohol fällte und nach 1—2 Tagen den Schleimstoff und die genannten Modifikationen des Eiweisses in heissem Wasser auflöste, und in der Lösung mit Essigsäure auf Schleimstoff und mit Ferrocyankalium auf letztere reagirte. — Endlich ist noch eine Arbeit von Bamberger[1]) zu erwähnen, welche jedoch hauptsächlich nur Analysen der Aschebestandtheile verschiedener Sputa enthält.

Bei der mir gestellten Aufgabe handelt es sich nicht um die Eruirung der in den Sputis enthaltenen Stoffe, worin gewiss noch manches Interessante zu finden wäre, sondern nur um die Menge der hauptsächlichsten Bestandtheile derselben, damit man daraus bei der bekannten Quantität der Sputa über die Einbusse, welche der Organismus dadurch erleidet, Anhaltspunkte gewinnen kann.

Es stehen genaueren Untersuchungen der Art mancherlei Schwierigkeiten entgegen.

Wir können zunächst nicht das pathologische Produkt der Schleimhaut der Luftwege mit dem normalen in Qualität und Quantität vergleichen, da das Letztere nur in sehr geringer Menge abgesondert wird. Wenn auch Nasse das von ihm benützte Material, welches Morgens durch leichtes Räuspern gewonnen wurde, und von dem er in 8 Monaten 200 Gran = 12 Grm. erhielt, als normalen Schleim der Luftwege bezeichnet, so lässt sich vielleicht darüber streiten, ob es nicht doch schon als pathologisch aufgefasst werden kann.

Ein anderer misslicher Punkt ist die Vermischung des Auswurfes der Respirationsorgane mit anderen Sekreten und Bestandtheilen. Wie nämlich das Mikroskop ausweist, erhalten wir den Auswurf der Respirationsorgane niemals völlig rein für sich, sondern immer gemischt mit Speichel oder Mundschleim, Epithelien der Mundhöhle, Nasenschleim, Blut, Speiseresten, ja selbst mit Schnupftabak.

---

1) Bamberger, Beiträge zur Lehre vom Auswurfe, Würzburger mediz. Zeitschrift, 1861. Bd. II. S. 335.

Es ist ferner in gewissen Fällen nur schwer möglich den Auswurf durch und durch gleichmässig zur Analyse zu erhalten. In manchen Sputis befinden sich bekanntlich zähe Schleimballen in einer weniger consistenten Flüssigkeit, und es ist eine innige Mengung und gleichmässige Vertheilung der Masse nur annähernd und nur durch längeres Rühren und Schlagen ausführbar.

Endlich, und dies ist wohl der schlimmste Punkt, ist der Auswurf häufig ein Gemenge aus mehreren Säften, welche zum Theil organisirte Gebilde enthalten und desshalb getrennt von einander analysirt werden sollten. Der pathologische Auswurf ist gemischt aus dem normalen Sekret der Respirationsschleimhaut und aus den durch die Veränderung bei der Krankheit erzeugten Produkten, z. B. aus dem qualitativ und quantitativ veränderten Sekret der Schleimhaut, aus Eiter oder Blut, welche letztere wieder aus Plasma und zelligen Gebilden zusammengesetzt sind. Eine Analyse dieses Gemisches ohne eine Trennung der Componenten, die bis jetzt nicht ausführbar ist, wird daher zu keinen besonderen Resultaten führen, wenn es sich nicht um eine ganz bestimmte einfache Frage handelt, wie sie z. B. bei unserem Thema vorliegt.

Es ist dabei, wie schon erwähnt, nur nöthig, die Quantität der Sputa in einer bestimmten Zeit zu kennen und die Menge der hauptsächlichsten Bestandtheile derselben; ich habe von letzteren nur das Wasser, das Mucin, die eiweissartigen und die fettartigen Stoffe und die Gesammtasche berücksichtiget.

Ich habe nun zu dem Zwecke den folgenden Gang der Untersuchung eingeschlagen.

Die zu beobachtenden, zuverlässigen Kranken mussten ihren Auswurf von 24 Stunden (von einem Morgen bis zum nächstfolgenden) in einer gut bedeckten Spuckschale aufsammeln, um die Quantität desselben dem Gewichte nach zu bestimmen. Es ist natürlich nicht möglich, die Verdunstung von Wasser gänzlich zu verhüten, doch ist dieselbe, wie ich durch Stehenlassen einer abgewogenen Menge und Nachwiegen nach 24 Stunden constatirt habe, nur sehr gering; überdiess handelt es sich bei meinen Bestimmungen vor Allem um die Menge der festen Bestandtheile, welche durch die Verdunstung von Wasser nicht geändert wird.

Die auf diese Weise gesammelte Masse wurde nun behufs gleichmässiger Mischung in einem Becherglase mit einem Glasstabe gerührt und dann daraus die Proben für die Analyse entnommen.

Zwei Proben, jede etwa 10 Gramm wiegend, werden im Glühschälchen gewogen und bei 100° getrocknet, um zunächst die Menge des Wassers und der festen Bestandtheile zu erfahren. Die so getrockneten Sputa stellen gewöhnlich eine gelbbraune, meist blättrige Masse dar. Die eine dieser beiden Portionen wird nun zur Bestimmung der Menge der Aschebestandtheile verbrannt, und da dieses in der Mehrzahl der Fälle sehr schwierig ist, so geschah dann die völlige Verbrennung unter Zusatz von etwas salpetersaurem Ammoniak. Die andere Portion wurde mit Quarzsand verrieben und mit kochendem Aether extrahirt und der nach dem Verdunsten des Aethers bleibende Rückstand gewogen. Die Hauptmasse dieses Rückstandes besteht wohl aus Neutralfetten, zum Theil auch aus Cholestearin, Lecithin, Fettsäuren etc. etc.

Zwei weitere Proben der feuchten Sputa, ebenfalls zu ungefähr 10 Gramm, werden abgewogen, mit etwa der fünffachen Wassermenge gleichmässig zusammengerührt, und dann Essigsäure zur Fällung des Mucins zugesetzt. Die Flüssigkeit bleibt mehrere Stunden stehen, damit die Flocken des Mucins sich zusammenballen und die Eiweissstoffe der Zellen und Zellenkerne möglichst in die saure Lösung übertreten. Das Mucin lässt sich hierauf leicht auf einem bei 100° getrockneten und gewogenen Filter sammeln, wonach es mit Essigsäure enthaltendem Wasser gewaschen, bei 100° getrocknet und gewogen wird. Es ist allerdings nicht vollkommen reines Mucin, sondern es schliesst in manchen Fällen noch die Reste der Zellen in sich ein, was aber für meinen Zweck gleichgültig ist; wollte man die Sputa zur Herstellung einer gleichmässigen Lösung mit Kalilauge versetzen, so würde durch den Zusatz der Essigsäure nicht nur das Mucin ausgefällt, sondern auch in Alkalialbuminat umgewandeltes Eiweiss. Die vom Mucin abfiltrirte Flüssigkeit wird nun mit verdünnter Kalilauge sorgfältigst neutralisirt, wobei öfters eine sehr schwache Opalescenz eintritt durch Fällung von Spuren von entstandenem Acidalbuminat oder von in der Essigsäure ge-

lösten, ursprünglich vorhandenen Alkalialbuminat, und endlich das Albumin völlig durch Kochen gefällt; dieses wird nun ebenfalls abfiltrirt, getrocknet und gewogen.

Auf diese Weise erfahre ich also die Menge des Wassers, der festen Bestandtheile, des Mucins, des Eiweisses, der fettartigen Stoffe und der Aschebestandtheile in dem Auswurfe.

Unter den vielen Kranken mit Leiden der Respirationsorgane, welche mir auf der Abtheilung des Herrn Direktors v. Lindwurm zu Gebote standen, suchte ich mir solche heraus, welche einen recht massenhaften Auswurf hatten, denn erstens wollte ich wo möglich das Maximum der Stoffe finden, welche bei einem Menschen durch die Sputa verloren gehen können, und zweitens fallen bei grossen Mengen Auswurf die Verunreinigungen durch Speichel etc. nicht so sehr in das Gewicht.

Um die Schwankungen in der Grösse des Gesammtauswurfes und seiner einzelnen Bestandtheile zu erfahren, habe ich die Beobachtungen an dem nämlichen Individuum während einer längeren Reihe von Tagen angestellt, und auch die Auswurfsquantitäten von mehreren mit der gleichen Krankheit behafteten Individuen bestimmt, um zu sehen, ob sich vielleicht für eine bestimmte Krankheit eine Mittelzahl finden lässt, welche von der anderer Krankheiten wesentlich differirt.

Ich habe als Paradigmen die drei wichtigsten Erkrankungen des Respirationsorganes ausgewählt, nämlich die Bronchitis, die Pneumonie und die Phthisis.

## I. Bronchitis.

Ich habe dafür einen Emphysematiker mit chronischer Bronchitis ausgesucht, welcher von Zeit zu Zeit das Spital aufsucht, wenn sein Husten stärker wird, wenn also die Bronchitis einen neuen Nachschub macht. Die Sputa stellten eine durchsichtige, stark mit Luftblasen vermischte, fadenziehende Masse dar, die sich wegen ihrer Zähigkeit ungemein schwer mischen liess. Ich habe bei dem Manne in einem Zeitraume von 3 Monaten zwei Beobachtungsreihen gemacht, die ich in folgender Tabelle mittheile:

Tabelle 1.

| Tag | $^0/_0$ d. feuchten Substanz | | | | $^0/_0$ d. trocknen | | Absolute Menge in Gramm | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Wasser | Feste Bestandtheile | Mucin | Asche | Mucin | Asche | Sputa | Wasser | Feste Theile | Mucin | Asche |
| a) 1. | 98.16 | 1.84 | 0.61 | 0.52 | 33.15 | 28.26 | 188.7 | 185.23 | 3.47 | 1.15 | 0.98 |
| 2. | 98.42 | 1.58 | 0.67 | 0.68 | 42.40 | 43.03 | 131.8 | 129.72 | 2.08 | 0.88 | 0.89 |
| 3. | 98.26 | 1.74 | 0.63 | 0.41 | 36.20 | 23.56 | 117.0 | 114.97 | 2.03 | 0.73 | 0.48 |
| 4. | 98.40 | 1.60 | 0.82 | 0.56 | 51.25 | 35.00 | 99.2 | 97.62 | 1.58 | 0.81 | 0.55 |
| 5. | 98.26 | 1.74 | 0.73 | 0.50 | 41.95 | 28.73 | 141.0 | 138.55 | 2.45 | 1.03 | 0.70 |
| Mittel | 98.30 | 1.70 | 0.69 | 0.53 | 40.58 | 31.18 | 135.5 | 133.20 | 2.30 | 0.93 | 0.71 |
| b) 1. | 97.04 | 2.96 | 2.02 | 0.60 | 68.24 | 20.27 | 146.1 | 141.78 | 4.32 | 2.95 | 0.87 |
| 2. | 97.12 | 2.88 | 2.08 | 0.86 | 72.22 | 29.86 | 129.4 | 125.68 | 3.72 | 2.69 | 1.11 |
| 3. | 96.97 | 3.03 | 1.06 | 0.81 | 34.98 | 26.73 | 131.0 | 127.03 | 3.97 | 1.39 | 1.06 |
| Mittel | 97.04 | 2.96 | 1.72 | 0.76 | 58.10 | 25.67 | 135.5 | 131.49 | 4.01 | 2.33 | 1.02 |

Die absolute Quantität der Sputa schwankte zwischen 99 und 189 Gramm hin und her. Die prozentige Menge des Wassers und der festen Bestandtheile war stets nahezu die gleiche.

Im Mittel finden sich in den beiden Reihen folgende Werthe:

| | in der feuchten Substanz | in der trockenen Substanz |
|---|---|---|
| a) Wasser . . . . . | 98.30 | — |
| feste Theile . . . | 1.70 | — |
| organisch . . . . | 1.17 | 68.82 |
| anorganisch . . . | 0.53 | 31.18 |
| Mucin . . . . . | 0.69 | 40.58 |
| Extraktivstoffe . . | 0.48 | 28.24 |
| b) Wasser . . . . . | 97.04 | — |
| feste Theile . . . | 2.96 | — |
| organisch . . . . | 2.20 | 74.33 |
| anorganisch . . . | 0.76 | 25.67 |
| Mucin . . . . . | 1.72 | 58.10 |
| Extraktivstoffe . . | 0.48 | 16.23 |

Die zweite Reihe unterscheidet sich von der ersten hauptsächlich durch den grösseren Reichthum an Mucin, das dann den höheren Gehalt an festen Theilen überhaupt und an organischen bedingte.

Es fand sich in diesem bronchitischen Auswurfe fast gar kein Eiweiss vor, denn in der von Mucin abfiltrirten Flüssigkeit entstand in der Siedehitze nach der Neutralisirung nur eine ganz schwache Opalescenz; ferner war so gut wie kein Fett vorhanden, da die Menge des Aetherextraktes kaum wägbar war. Es waren in diesem Falle nur wenig zellige Elemente zugegen und unter den festen Bestandtheilen wurde vorzüglich Mucin entleert, d. h. das der Schleimhaut zugeführte Eiweiss wurde beinahe ganz von den Zellen derselben verarbeitet oder durch die Lymphgefässe abgeführt. Es war also hier nur eine quantitative Steigerung der normalen Sekretion eingetreten.

Bei noch rascherer Zufuhr von Ernährungsmaterial, nämlich bei der akuten Bronchitis, tritt aber mehr Eiweiss im Sekrete auf und zugleich mehren sich die jungen zelligen Elemente, da die Zeit zur Umbildung derselben in wahre Epithelzellen nicht gegeben ist. Schon Brett[1]) hat angegeben, dass im sputum catarrhale Mucin, kein Albumin und viele Salze, im sputum bronchiticum jedoch Mucin, etwas Albumin und weniger Salze enthalten seien. Der Gehalt der Sputa an Fett scheint hauptsächlich von den in ihnen enthaltenen zelligen Gebilden herzurühren, welche eine fettige Degeneration erleiden.

Das Mucin deckt, wie zu erwarten war, nicht die ganze Menge der organischen Stoffe, wenn auch den grössten Theil derselben. Was das für Stoffe sind, ist bis jetzt noch wenig bekannt; wir wollen sie, wie gewöhnlich, Extraktivstoffe nennen. Sie betragen in der ersten Reihe 0.48 % der feuchten und 28.24 % der trockenen Substanz, in der zweiten Reihe 0.48 % der feuchten und 16.23 % der trockenen Substanz. Sie machen 41 und 22 % der organischen Stoffe aus.

Die von anderen Forschern angestellten Analysen des bronchitischen Auswurfes stimmen mit den Resultaten der meinigen so ziemlich überein.

---

1) Brett, in einem bei der Versammlung der brittischen Naturforscher zu Dublin 1837 gehaltenen Vortrage.

Nasse untersuchte den normalen Schleim der Luftwege (a); Simon analysirte die Schleimballen bei entzündlicher Affektion der Schleimhaut, wobei es sich des hohen Fettgehaltes wegen wahrscheinlich um einen eitrigen Auswurf, wie man ihn als Sputum coctum im zweiten Stadium der Bronchitis trifft, handelt (b); Wright giebt die Zusammensetzung des katarrhalischen Schleimes der Luftwege (c); von Bamberger wurden die Sputa bei chronischem Bronchialkatarrh der Untersuchung unterworfen (d) und endlich von Biermer die katarrhalischen Sputa bei akuter (e) und chronischer (f) Bronchitis neben Emphysem. Ich stelle die Ergebnisse derselben übersichtlich zusammen.

| | a. | b. | c. | d. | e. | f. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Wasser | 95.55 | 94.17 | 95.60 | 95.62 | 97.99 | 97.80 |
| feste Theile | 4.45 | 5.83 | 4.40 | 4.88 | 2.01 | 2.20 |
| organisch | 3.65 | — | 3.90 | 3.71 | 1.37 | 1.74 |
| anorganisch | 0.80 | — | 0.50 | 0.67 | 0.64 | 0.46 |
| Mucin mit Zellen und etwas Albumin | 2.38 | 3.48 | 3.20 | — | — | — |
| Fett | 0.29 | 0.50 | — | — | — | — |
| Extraktivstoffe | 0.98 | 1.80 | 0.40 | — | 1.24 | 1.30 |

Wie man ersieht, schliessen sich meine Zahlen am nächsten den von Biermer erhaltenen an.

## II. Pneumonie.

Die Sputa bei der Pneumonie unterscheiden sich wesentlich von denen bei der Bronchitis.

Nach den Darstellungen von Prof. Buhl ist Croup ein gesteigerter Katarrh der Luftwege mit Exsudation von Faserstoff, und bei croupöser Pneumonie mit Uebertritt von Blut. Der croupöse Prozess kann bei der Pneumonie von den Alveolen aus auf die Bronchiolen und Bronchien fortschreiten, so dass dann neben der Erkrankung der Alveolen auch eine croupöse Bronchitis vorhanden ist; es findet sich aber auch neben der Erkrankung der Alveolen nur eine einfache katarrhalische Bronchitis. Ist auch diese nicht da, so erfolgt gar keine Expektoration, denn es wird nach den Angaben von Prof. Buhl aus den Alveolen nichts ausgehustet, sondern alle Sputa stammen nur aus den katarrhalisch oder croupös erkrankten Bron-

chien; im ersten Falle wird also ein katarrhalisches Sekret zu Tage treten müssen ohne Albumin und Fett, im zweiten Falle ein Sekret mit wägbaren Beimischungen von Albumin und Fett. Brett gab schon an, dass im cruenten pneumonischen Auswurf die Bestandtheile des zähen Schleimes und des Blutes sich finden, also ziemlich viel Eiweiss und auch Eisenoxyd; Scherer sagt, dass bei der Entzündung rascher an der Schleimhaut secernirt wird und desshalb mehr Eiweiss im Sekret vorhanden ist, das bei der langsamen Sekretion in Schleimstoff übergeht. Nach Biermer ist in dem cruenten pneumonischen Auswurf neben Eiweiss und Mucin auch Paralbumin zugegen.

Die beiden Processe sind in meiner Untersuchung durch zwei Beobachtungsreihen repräsentirt. Der Fall a) scheint einer croupösen Erkrankung der Bronchien zu entsprechen, der Fall b) sieht mehr einer einfachen Bronchitis gleich, mit unbestimmbaren Mengen von Albumin und sehr wenig Fett.

Beide Fälle sind normal verlaufende Pneumonien; bei a) trat die Krisis am 7. Tage nach dem Schüttelfroste, bei b) am 5. Tage darnach ein, entsprechend dem 7., beziehungsweise 2. Tage der nachfolgenden Tabelle 2 S. 113.

Die Quantität der Sputa war im ersten Falle stets eine sehr geringe, im zweiten Falle jedoch so gross, als bei der Bronchitis. Was die Zusammensetzung betrifft, so unterscheidet sie sich im zweiten Falle kaum von der bei der Bronchitis; im ersten Falle dagegen sind viel mehr feste Bestandtheile vorhanden, hervorgerufen durch die Vermehrung der organischen Substanzen und zwar durch die nicht unbeträchtliche Menge des Eiweisses, vor Allem aber durch die grosse Menge der Extraktivstoffe. Es ergiebt sich nämlich im Mittel:

| | in der feuchten Substanz | in der trockenen Substanz |
|---|---|---|
| a) Wasser . . . . . | 90.99 | — |
| feste Theile . . . | 9.01 | — |
| organisch . . . . | 8.35 | 92.68 |
| anorganisch . . . | 0.66 | 7.32 |
| Mucin . . . . . | 1.28 | 14.26 |
| Eiweiss . . . . . | 3.09 | 33.32 |
| Fett . . . . . . | 0.032 | 0.35 |
| Extraktivstoffe . . | 3.95 | 44.75 |

Tabelle 2.

| Tag | % der feuchten Substanz | | | | | | % der trocknen Substanz | | | | Absolute tägliche Menge in Grammen | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Wasser | Feste Theile | Mucin | Albumin | Fett | Asche | Mucin | Albumin | Fett | Asche | Sputa | Wasser | Feste Theile | Mucin | Albumin | Fett | Asche |
| a) 1. | 92.96 | 7.06 | 1.43 | 1.70 | 0.06 | 0.48 | 20.31 | 24.14 | 0.84 | 6.80 | 24.0 | 22.31 | 1.69 | 0.34 | 0.41 | 0.014 | 0.11 |
| 2. | 92.17 | 7.83 | 3.48 | 1.83 | 0.02 | 0.74 | 44.44 | 23.37 | 0.25 | 10.71 | 15.7 | 14.47 | 1.23 | 0.54 | 0.28 | 0.003 | 0.11 |
| 3. | 90.12 | 9.88 | 0.97 | 4.21 | 0.03 | 0.72 | 9.82 | 42.61 | 0.30 | 7.28 | 41.2 | 37.13 | 4.07 | 0.40 | 0.17 | 0.012 | 0.29 |
| 4. | 89.53 | 10.47 | 1.28 | 6.20 | 0.03 | 0.64 | 12.22 | 59.21 | 0.28 | 6.88 | 34.9 | 31.25 | 3.65 | 0.44 | 0.21 | 0.010 | 0.22 |
| 5. | 92.15 | 7.85 | 0.96 | 1.98 | 0.01 | 0.54 | 12.23 | 25.22 | 0.12 | 6.88 | 30.2 | 27.83 | 2.37 | 0.29 | 0.60 | 0.003 | 0.16 |
| 6. | 90.74 | 9.26 | 0.84 | 2.73 | 0.02 | 0.80 | 9.07 | 29.48 | 0.21 | 8.64 | 23.7 | 21.51 | 2.19 | 0.19 | 0.64 | 0.004 | 0.19 |
| 7. | 90.77 | 9.23 | 0.78 | 3.48 | 0.04 | 0.68 | 8.45 | 37.70 | 0.43 | 7.37 | 30.7 | 27.87 | 2.83 | 0.24 | 1.06 | 0.012 | 0.21 |
| 8. | 89.61 | 10.39 | 0.71 | 4.34 | 0.09 | 0.50 | 6.83 | 41.77 | 0.86 | 4.81 | 28.5 | 25.54 | 2.96 | 0.20 | 1.23 | 0.025 | 0.14 |
| 9. | 90.74 | 9.26 | 1.26 | 3.02 | 0.05 | 0.60 | 13.60 | 32.61 | 0.54 | 6.48 | 21.5 | 19.51 | 1.99 | 0.27 | 0.65 | 0.010 | 0.19 |
| 10. | 91.11 | 8.89 | 0.73 | 2.07 | 0.002 | 0.81 | 8.21 | 23.28 | 0.02 | 9.11 | 16.7 | 15.22 | 1.48 | 0.12 | 0.34 | — | 0.13 |
| 11. | 90.98 | 9.02 | 1.68 | 2.45 | 0.004 | 0.84 | 18.62 | 27.16 | 0.04 | 9.31 | 19.4 | 17.65 | 1.75 | 0.32 | 0.47 | — | 0.16 |
| Mittel | 90.99 | 9.01 | 1.28 | 3.09 | 0.032 | 0.66 | 14.26 | 33.32 | 0.35 | 7.32 | 26.0 | 23.66 | 2.34 | 0.32 | 0.80 | 0.013 | 0.17 |
| b) 1. | 97.07 | 2.93 | 1.25 | — | 0.02 | 0.84 | 42.66 | — | 0.68 | 28.67 | 45.0 | 43.68 | 1.32 | 0.56 | — | 0.009 | 0.37 |
| 2. | 97.40 | 2.60 | 0.92 | — | 0.02 | 0.99 | 35.37 | — | 0.77 | 38.07 | 143.0 | 139.29 | 3.71 | 1.31 | — | 0.028 | 1.41 |
| 3. | 96.24 | 3.76 | 1.10 | — | 0.02 | 0.88 | 29.25 | — | 0.53 | 23.40 | 153.0 | 147.25 | 5.75 | 1.68 | — | 0.036 | 1.34 |
| 4. | 94.73 | 5.27 | — | — | 0.02 | 0.81 | — | — | 0.38 | 15.37 | 147.4 | 139.64 | 7.76 | — | — | 0.029 | 1.19 |
| Mittel | 96.36 | 3.64 | 1.09 | — | 0.02 | 0.88 | 35.76 | — | 0.55 | 24.18 | 122.1 | 117.66 | 4.44 | 1.33 | — | 0.025 | 1.07 |

| | in der feuchten Substanz | in der trockenen Substanz |
|---|---|---|
| b) Wasser | 96.36 | — |
| feste Theile | 3.64 | — |
| organisch | 2.76 | 75.82 |
| anorganisch | 0.88 | 24.18 |
| Mucin | 1.09 | 35.76 |
| Eiweiss | — | — |
| Fett | 0.02 | 0.55 |
| Extraktivstoffe | 1.65 | 39.51 |

Die auffallend grosse Menge der Extraktivstoffe (möglicherweise mit Paralbumin) bei der gleichen Menge von Mucin neben viel Eiweiss thut dar, dass hier Zersetzungen mannigfacher Art mit dem Sekrete vor sich gehen. Die Anzahl der jungen Zellen ist nicht bedeutend und auch die Menge des Fettes nur eine geringe, wenn auch etwas mehr als im rein bronchitischen Auswurf. Ich habe die Bestimmungen des Fettes in beiden Reihen ausgeführt, um zu sehen, ob man im Stande ist, die fettige Degeneration des Exsudates im 3. Stadium der Pneumonie chemisch in den Sputis darzuthun. Aus den betreffenden Zahlen der Tabelle 2 ergiebt sich aber, dass dies nicht möglich ist; die Menge des Fettes ist stets eine sehr geringe, und in der ersten Reihe am grössten am 2. Tage der Krisis (8. Beobachtungstag), von wo ab sie sehr rasch abnimmt.

Bamberger und Biermer haben ebenfalls Analysen der Sputa bei Pneumonie gemacht; Bamberger vom 6.—7. Tage mit wenig Blut (a) und vom 5. Tage mit mehr Blut (b); Biermer am 5. Tage eines Falles von Pneumonie mit Lösung am 10. Tage (c); ferner am 4. Tage mit Lösung am 7. Tage (d), dann am 8. Tage mit Lösung am 11. Tage (e) und endlich am 14. Tage (f) während der Lösung. Sie fanden dabei:

| | a. | b. | c. | d. | e. | f. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Wasser | 94.21 | 94.17 | 94.50 | 87.31 | 96.16 | 89.03 |
| Feste Theile | 5.79 | 5.83 | 5.50 | 12.69 | 3.84 | 10.97 |
| Organisch | 4.53 | 5.05 | 5.02 | 11.59 | 3.11 | 9.39 |
| Anorganisch | 1.26 | 0.78 | 0.48 | 1.10 | 0.73 | 1.58 |
| in Alkohol u. heissem Wasser unlöslich | — | — | 3.92 | 10.62 | 2.58 | 8.21 |
| in Alkohol und heissem Wasser löslich | — | — | 1.57 | 2.08 | 1.26 | 2.75 |

## III. Phthisis pulmonum.

Am wichtigsten für den Zweck meiner Untersuchung war die Phthisis pulmonum, da diese Erkrankung lange Zeit anwährt und bei ihr also dem Körper lange Zeit Stoffe durch den Auswurf entzogen werden.

Der erste hieher gehörige Kranke (a), welcher durch seine grossen Auswurfsmengen meine Aufmerksamkeit erregte, war ein Phthisiker mit Cirrhose der Lungen und beiderseitigen Cavernen; ich habe an ihm während 16 sich folgenden Tagen die Menge der Sputa und ihre Zusammensetzung bestimmt. Der zweite Fall (b) betraf eine alte Frau, welche grosse Cavernen und Peribronchitis über beide Lungen hatte. In einer dritten Beobachtungsreihe (c) endlich untersuchte ich die phthisischen Sputa von einem jungen Manne mit Cirrhose der Lungen und Cavernen.

Ich theile die Resultate der 3 Versuchsreihen in der Tabelle 3 S. 116 und 117 mit.

Die absolute Menge des Auswurfs betrug in a) 117—192 Grm., im Mittel 146 Grm., in b) im Mittel 144 Grm., in c) im Mittel 82 Grm., sie war also ähnlich der bei der Bronchitis.

Die Zusammensetzung der Sputa der drei Reihen war im Mittel die folgende:

| | in der feuchten Substanz. | in der trockenen Substanz. |
|---|---|---|
| a) Wasser . . . . | 94.58 | — |
| Feste Theile . . | 5.42 | — |
| organisch . . . | 4.66 | 85.98 |
| anorganisch . . | 0.76 | 14.02 |
| Mucin . . . . | 1.80 | 33.21 |
| Eiweiss . . . . | 0.49 | 9.04 |
| Fett . . . . . | 0.36 | 6.64 |
| Extraktivstoffe . . | 2.01 | 37.09 |
| b) Wasser . . . . | 94.97 | — |
| Feste Theile . . | 5.03 | — |
| organisch . . . | 4.13 | 82.11 |
| anorganisch . . | 0.90 | 17-89 |
| Mucin . . . . | 2.56 | 50.89 |
| Eiweiss . . . . | 0.11 | 2.18 |
| Fett . . . . . | 0.30 | 5.95 |
| Extraktivstoffe . . | 1.16 | 22.50 |

Tabelle 3.

| Tag | % der feuchten Substanz | | | | | | % der trocknen | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Wasser | Feste Theile | Mucin | Albumin | Fett | Asche | Mucin | Albumin |
| a) 1. | 93.69 | 6.31 | 1.85 | 0.43 | — | 0.98 | 29.31 | 6.81 |
| 2. | 94.82 | 5.18 | 1.65 | 0.60 | — | 0.88 | 31.58 | 11.58 |
| 3. | 95.42 | 4.58 | 0.99 | 0.64 | — | 0.77 | 21.61 | 13.97 |
| 4. | 94.24 | 5.76 | 2.00 | 0.89 | — | 0.73 | 34.72 | 15.45 |
| 5. | 95.32 | 4.68 | 2.01 | 0.48 | 0.22 | 0.80 | 42.95 | 10.25 |
| 6. | 94.97 | 5.03 | 1.74 | 0.44 | 0.56 | — | 34.59 | 8.74 |
| 7. | 94.38 | 5.62 | 1.86 | 0.36 | 0.30 | — | 33.09 | 6.40 |
| 8. | 94.20 | 5.80 | 2.11 | 0.39 | 0.53 | 0.77 | 36.38 | 6.07 |
| 9. | 94.22 | 5.78 | 2.20 | 0.65 | 0.19 | — | 38.06 | 11.24 |
| 10. | 94.85 | 5.15 | 1.72 | 0.53 | 0.25 | — | 33.39 | 10.28 |
| 11. | 93.93 | 6.07 | 1.97 | 0.41 | 0.46 | — | 32.45 | 6.75 |
| 12. | 94.57 | 5.43 | 2.07 | 0.54 | 0.41 | 0.56 | 38.12 | 9.94 |
| 13. | 94.59 | 5.41 | 1.64 | 0.34 | — | 0.76 | 30.31 | 6.28 |
| 14. | 94.70 | 5.30 | 1.80 | 0.36 | — | — | 33.96 | 6.79 |
| 15. | 94.39 | 5.61 | 1.65 | 0.36 | — | 0.72 | 29.41 | 6.41 |
| 16. | 95.11 | 4.89 | 1.61 | 0.42 | — | 0.62 | 32.92 | 8.59 |
| Mittel | 94.58 | 5.42 | 1.80 | 0.49 | 0.36 | 0.76 | 33.21 | 9.04 |
| b) 1. | 95.29 | 4.71 | 2.23 | 0.10 | 0.21 | 0.84 | 47.34 | 2.12 |
| 2. | 94.74 | 5.26 | 2.65 | 0.11 | 0.38 | 1.03 | 50.38 | 2.09 |
| 3. | 94.90 | 5.10 | 2.80 | 0.13 | 0.32 | 0.83 | 54.90 | 2.55 |
| Mittel | 94.97 | 5.03 | 2.56 | 0.11 | 0.30 | 0.90 | 50.89 | 2.18 |
| c) 1. | 93.53 | 6.47 | 3.03 | 0.36 | 0.58 | 0.81 | 46.83 | 5.56 |
| 2. | 94.80 | 5.20 | 2.58 | 0.18 | 0.44 | 0.72 | 49.61 | 3.46 |
| 3. | 93.19 | 6.81 | 2.91 | 0.35 | 0.54 | 0.88 | 42.73 | 5.14 |
| Mittel | 93.84 | 6.16 | 2.84 | 0.29 | 0.52 | 0.80 | 46.10 | 4.70 |

Tabelle 3.

| Substanz | | Tägliche Menge in Grammen | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Fett | Asche | Sputa | Wasser | Feste Theile | Mucin | Albumin | Fett | Asche |
| — | 15.53 | 192.5 | 189.36 | 12.14 | 3.56 | 0.82 | — | 1.88 |
| — | 17.00 | 149.6 | 141.85 | 7.75 | 2.47 | 0.89 | — | 1.31 |
| — | 16.81 | 162.8 | 155.35 | 7.45 | 1.61 | 1.04 | — | 1.25 |
| — | 12.67 | 150.5 | 141.83 | 8.67 | 3.01 | 1.34 | — | 1.10 |
| 4.70 | 17.09 | 191.1 | 182.16 | 8.94 | 3.84 | 0.91 | 0.42 | 1.52 |
| 11.13 | — | 139.2 | 132.20 | 7.00 | 2.42 | 0.61 | 0.78 | — |
| 5.33 | — | 146.5 | 138.27 | 8.23 | 2.72 | 0.52 | 0.44 | — |
| 9.13 | 13.27 | — | — | — | — | — | — | — |
| 3.28 | — | 135.5 | 127.67 | 7.83 | 2.98 | 0.88 | 0.25 | — |
| 4.85 | — | 156.7 | 148.63 | 8.07 | 2.69 | 0.83 | 0.39 | — |
| 7.57 | — | 135.1 | 126.90 | 8.20 | 2.66 | 0.55 | 0.62 | — |
| 7.55 | 10.31 | 143.6 | 135.81 | 7.79 | 2.97 | 0.77 | 0.58 | 0.80 |
| — | 14.05 | 130.6 | 123.54 | 7.06 | 2.14 | 0.44 | — | 0.99 |
| — | — | 117.1 | 110.90 | 6.20 | 2.10 | 0.42 | — | — |
| — | 12.83 | 118.5 | 111.86 | 6.64 | 1.95 | 0.42 | — | 0.85 |
| — | 12.68 | 120.3 | 114.42 | 5.88 | 1.93 | 0.50 | — | 0.74 |
| 6.64 | 14.02 | 145.9 | 138.00 | 7.90 | 2.62 | 0.71 | 0.52 | 1.11 |
| 4.45 | 17.83 | 136.0 | 129.60 | 6.40 | 3.03 | 0.13 | 0.28 | 1.14 |
| 7.22 | 19.58 | 152.7 | 144.67 | 8.03 | 4.04 | 0.16 | 0.58 | 1.57 |
| 6.27 | 16.27 | 144.0 | 136.66 | 7.34 | 4.03 | 0.18 | 0.46 | 1.19 |
| 5.95 | 17.89 | 144.2 | 136.96 | 7.25 | 3.69 | 0.15 | 0.43 | 1.30 |
| 8.98 | 12.52 | 82.2 | 76.89 | 5.31 | 2.49 | 0.29 | 0.47 | 0.66 |
| 8.46 | 13.84 | 88.2 | 83.62 | 4.58 | 2.27 | 0.16 | 0.38 | 0.63 |
| 7.93 | 12.92 | 76.7 | 71.48 | 5.22 | 2.23 | 0.25 | 0.41 | 0.67 |
| 8.44 | 12.97 | 82.3 | 77.23 | 5.07 | 2.34 | 0.24 | 0.42 | 0.66 |

| | in der feuchten Substanz. | in der trockenen Substanz. |
|---|---|---|
| c) Wasser . . . . | 93.84 | — |
| Feste Theile . . | 6.16 | — |
| organisch . . . | 5.36 | 87.03 |
| anorganisch . . . | 0.80 | 12.97 |
| Mucin . . . . | 2.84 | 46.10 |
| Eiweiss . . . . | 0.29 | 4.70 |
| Fett . . . . . | 0.52 | 8.44 |
| Extraktivstoffe . | 1.71 | 27.79 |

Es unterscheiden sich demnach die Sputa bei der Phthisis von denen bei der Bronchitis und der Pneumonie in ihrer Zusammensetzung. Sie enthalten mehr feste Bestandtheile als die bei der Bronchitis dadurch, dass sie reicher an Mucin und Extraktivstoffen sind, und dass sie auch Eiweiss und Fett einschliessen; dies rührt offenbar her von der Beimischung junger Zellen mit ihrem Gehalte an Eiweiss und Fett zu dem einfach katarrhalischen Sekrete in dem phthisischen Auswurfe. Der letztere unterscheidet sich aber auch von dem bei der Pneumonie; es finden sich im Stadium der Pneumonie im Ganzen mehr feste Bestandtheile und zwar durch die grosse Menge der organischen Substanz, in welcher viel mehr Eiweiss und vor Allem mehr Extraktivstoffe vorhanden sind; es handelt sich bei diesen pneumonischen Sputis um einen Ueberschuss und Erguss eiweisshaltiger Ernährungsflüssigkeit, die mehr oder weniger umgewandelt ist, bei den Sputis in der Phthise um eine Zumischung von fettig degenerirten Zellen.

Die Menge und die Zusammensetzung der phthisischen Sputa kann wohl nicht Tag für Tag die gleiche bleiben und sie ist im Allgemeinen grösseren Schwankungen unterworfen als bei der Bronchitis; es wird manchmal durch Berstung einer Caverne mehr Eiter, ein ander Mal mehr von den Produkten des Verschwärungsprocesses in sie geliefert werden, ein ander Mal ist nur das Sekret der miterkrankten Bronchialschleimhaut vorhanden. Interessant ist die geringe Menge der Extraktivstoffe im Auswurfe bei der Phthisis gegenüber dem bei der Pneumonie. Diese sind hier wohl grösstentheils die des Eiters; ich war nicht im Stande Zucker darunter nachzuweisen, wohl aber erhielt ich eine intensiv rothviolette Färbung durch Ver-

setzen mit Kalilauge und einigen Tropfen einer Kupferoxydsalzlösung, von der ich dahingestellt sein lasse, ob sie von Peptonen oder Tyrosin etc. etc. herrührt; ich bemerke nur, dass ich diese Reaktion nur in den Sputis von Phthisikern und nicht im bronchitischen Auswurfe erhielt.

Nach den Angaben von Brett sind die Sputa im ersten Stadium der Phthise wie die bronchitischen oder pneumonischen zusammengesetzt; sie werden dann etwas reicher an Albumin und zuletzt haben sie die Zusammensetzung des Eiters mit viel Eiweiss. Nach Biermer stimmen sie mit dem katarrhalischen Bronchialsputum überein; er fand aber auch, wie ich, mehr organische Stoffe darin als beim Katarrh und ebenfalls sehr viel an den ersten Tagen der Pneumonie. Bamberger theilte eine Analyse des Sputums mit bei chronischer Lungentuberkulose (a); bei Biermer finden sich Analysen von einem schleimig eitrigen Sputum (b), einem tuberkulösen (c) und einem blutig eitrigen (d), welche ich zum Vergleiche noch folgen lasse.

| | a. | b. | c. | d. |
|---|---|---|---|---|
| Wasser | 94.55 | 95.96 | 87.89 | 88.25 |
| Feste Theile | 5.45 | 4.04 | 11.21 | 11.75 |
| organisch | 4.67 | 3.31 | 10.24 | 10.85 |
| anorganisch | 0.78 | 0.73 | 0.97 | 0.90 |
| in Alkohol und heissem Wasser unlöslich | — | 1.99 | 7.64 | 7.98 |
| in Alkohol und heissem Wasser löslich | — | 2.05 | 3.56 | 3.77 |

Es wäre sicherlich von Wichtigkeit, wenn man noch weiter die chemische Zusammensetzung der Sputa bei den verschiedensten Erkrankungen der Respirationsorgane feststellen, und dieselbe dann mit dem Fortgange der Krankheit und den Resultaten der mikroskopischen Untersuchung der Sputa vergleichen würde; die Vorgänge bei dem Krankheitsprocesse würden gewiss dadurch mancherlei Aufklärung erfahren. Die bis jetzt vorliegenden Analysen lassen sich desshalb nicht unter einander vergleichen und geben so verschiedene Resultate, da man auf obige Punkte nur ungenügend dabei geachtet hat.

---

Nachdem auf diese Weise die Quantitäten des Auswurfes bei verschiedenen krankhaften Zuständen der Respirationsorgane und

der Gehalt desselben an den hauptsächlichsten Stoffen bekannt ist, ist es möglich, die Grösse des Verlustes an diesen Stoffen in 24 Stunden mit annähernder Genauigkeit anzugeben. Ich stelle in folgender Tabelle die täglichen Mittelzahlen jeder Versuchsreihe zusammen und nehme dann auch die Mittelzahlen für jede Art der Erkrankungen.

| Art der Erkrankung. | Gesammtmenge. | Wasser. | feste Theile. | Mucin. | Eiweiss. | Fett. | Extraktivstoffe | Asche. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Bronchitis | 135.5 | 133.20 | 2.30 | 0.93 | — | — | 0.66 | 0.71 |
| Bronchitis | 135.5 | 131.49 | 4.01 | 2.33 | — | — | 0.66 | 1.02 |
| Mittel | 135.5 | 132.34 | 3.15 | 1.63 | — | — | 0.66 | 0.86 |
| Pneumonie | 26.0 | 23.66 | 2.34 | 0.32 | 0.80 | 0.013 | 1.04 | 0.17 |
| Pneumonie | 122.1 | 117.66 | 4.44 | 1.33 | — | 0.02 | 2.02 | 1.07 |
| Mittel | 74.0 | 70.66 | 4.39 | 0.82 | 0.40 | 0.016 | 1.53 | 0.62 |
| Phthise | 145.2 | 138.00 | 7.90 | 2.62 | 0.71 | 0.52 | 2.94 | 1.11 |
| Phthise | 144.2 | 137.00 | 7.20 | 3.69 | 0.15 | 0.43 | 1.63 | 1.30 |
| Phthise | 82.3 | 77.23 | 5.07 | 2.34 | 0.24 | 0.42 | 1.41 | 0.66 |
| Mittel | 124.1 | 117.31 | 6.72 | 2.88 | 0.36 | 0.46 | 1.99 | 1.02 |

Die Verluste vom Körper bei der Pneumonie können kaum in Betracht kommen, da dieselben nur einige Tage anwähren; anders dagegen ist es bei der Bronchitis und der Phthisis, welche längere Zeit andauern. Bei der Bronchitis ist der Verlust ein wesentlich geringerer als bei der Phthisis, obwohl die Gesammtmenge des Auswurfes bei beiden Erkrankungen nahezu die gleiche ist, denn in ersterer finden sich in den Sputis ansehnlich weniger feste Bestandtheile mit weniger organischen Stoffen, und unter den organischen Stoffen wesentlich nur Mucin, aber kein Eiweiss und Fett.

Für die Bronchitis können wir die Mittelwerthe der 2 Beobachtungsreihen nehmen, wonach dem Körper in 24 Stunden 135.5 Gramm Substanz entzogen werden, enthaltend:

132.34 Grm. Wasser
3.15 Grm. feste Theile

2.29 Grm. organische Stoffe
0.86 Grm. Aschebestandtheile

1.63 Grm. Mucin
0.66 Grm. Extraktivstoffe.

Für die Phthisis lege ich der weitern Berechnung ebenfalls die Mittelwerthe der drei Beobachtungsreihen zu Grunde, da die Werthe der einzelnen Reihen (ausser denen des Wassers) nur wenig davon differiren; es ergiebt sich dann ein Gesammtverlust in 24 Stunden von 124.1 Grm. Substanz mit:

117.31 Grm. Wasser
6.72 Grm. feste Theile

---

5.69 Grm. organische Stoffe
1.92 Grm. Aschebestandtheile

---

2.88 Grm. Mucin
0.36 Grm. Eiweiss
0.46 Grm. Fett
1.99 Grm. Extraktivstoffe.

Die Entziehung von 117—132 Grm. Wasser vom Körper in 24 Stunden kann wohl keinen wesentlichen Nachtheil hervorrufen; man sollte wenigstens denken, dass derselbe leicht wieder ersetzt werden könnte. Bei Diarrhöen tritt allerdings rasch grosse Mattigkeit ein, welche man auf den Wasserverlust beziehen könnte, aber letzterer ist dabei doch ungleich bedeutender und auch ein Ersatz, der beeinträchtigten Wasseraufnahme aus dem Darme halber, nur schwierig. Unter ganz normalen Verhältnissen kommen dauernd grosse Wasserentziehungen vor ohne irgend eine Schädigung, so z. B. in den heissen Sommermonaten.

Anders könnte es sich aber verhalten mit den Verlusten der festen Substanzen, die vorzüglich organischer Natur sind; der Entgang an Aschebestandtheilen ist nur gering und ist für die Bronchitis und die Phthisis nahezu gleich gross, nämlich 0.86—1.02 Grm. für 24 Stunden.

Um zu entscheiden, ob der Verlust an organischen Stoffen und Aschebestandtheilen durch den Auswurf ein berücksichtigenswerther ist, ist es zunächst nothwendig, die Verluste, welche ein menschlicher Körper normal auf anderen Wegen, nämlich durch den Harn, den Koth und die Haut oder Lungen erleidet, zu kennen, oder besser, welche Substanzen und wie viel davon der Körper verbraucht, deren Zersetzungsprodukte dann auf den genannten Wegen entfernt werden. Dieser Verbrauch ist nun je nach

dem Individuum und den Zuständen, unter denen dasselbe sich befindet, sehr verschieden. Ein gesunder, kräftiger Mann zersetzt unter sonst gleichen Verhältnissen in den meisten Fällen mehr wie ein Kranker; ein sich reichlich nährender mehr wie ein hungernder. Ein Mensch mit chronischer Bronchitis und mit Phthisis ist immer herabgekommen, aber er nimmt doch Nahrung zu sich und zwar häufig in nicht geringer Menge. Wir kennen leider bis jetzt nur sehr wenig den Bedarf eines Menschen an Nahrung bei verschiedenen Krankheitszuständen, ja es ist uns sogar unbekannt, was wir ihm heutzutage in der verschiedenen Krankheitskost darreichen; es wird aber wohl der Verbrauch bei der Bronchitis und der Phthisis nicht unter dem bei dem hungernden normalen Individuum stehen und nicht leicht über den bei dem gesunden Menschen hinausgehen.

Ein hungernder normaler, ruhender Mensch zersetzt nun in 24 Stunden nach den bekannten Untersuchungen von Prof. **Voit** etwa 79 Grm. Eiweiss und 209 Grm. Fett mit 19.3 Grm. Aschebestandtheilen, das sind 288 Grm. trockene Substanz mit 203.6 Grm. Kohlenstoff und 12.4 Grm. Stickstoff.

Ein gut genährter ruhender Arbeiter verbraucht dagegen in derselben Zeit 126 Grm. Eiweiss, 72 Grm. Fett und 352 Grm. Kohlehydrate mit 25.8 Grm. Aschebestandtheilen, das sind 550 Grm. trockene Substanz mit 282.6 Grm. Kohlenstoff und 19.5 Grm. Stickstoff.

Vergleichen wir mit diesen Werthen den Verlust durch den Auswurf.

Bei der Bronchitis enthalten die Sputa von 24 Stunden 3.15 Grm. feste Theile, bei der Phthisis 6.72 Grm. feste Theile, demnach 1.1 % und 2.3 % des im hungernden Körper und 0.6 % und 1.2 % des im gut genährten Körper stattfindenden Verbrauchs an fester Substanz. Dies ist allerdings nicht viel und man sollte denken, dass ein solcher Verlust durch Mehraufnahme von etwas trockener Substanz in der Nahrung leicht zu ersetzen wäre; es kommt jedoch sehr darauf an, worin dieser Verlust besteht.

Man muss dabei vor Allem die Aufmerksamkeit auf die Abgabe der stickstoffhaltigen Stoffe oder den Verbrauch von eiweiss

artiger Substanz richten. Der hungernde Mensch verbraucht in 79 Grm. trockenem Eiweiss 12.4 Grm. Stickstoff, der wohlgenährte Mensch in 126 Grm. trockenem Eiweiss 19.5 Grm. Stickstoff.

In den bronchitischen Sputis finden sich nun 1.63 Grm. Mucin und 0.66 Grm. sogenannte Extraktivstoffe, welche zum Theil stickstoffhaltig sind. Ich habe in den trockenen Sputis bei Bronchitis im Mittel 7.31 % Stickstoff[1]) gefunden; dies würde also für 3.15 Grm. trockene Sputa 0.23 Grm. N betragen, welche im Tag durch den Auswurf verloren gehen. Die 1.63 Grm. Mucin enthalten (bei 12.5 % Stickstoff nach Scherer) 0.20 Grm. Stickstoff, die Extraktivstoffe müssen daher noch 0.03 Grm. Stickstoff einschliessen. Die 0.23 Grm Stickstoff sind 1.8 % des Stickstoffverbrauches des hungernden und 1.1 % des Stickstoffverbrauches des wohl genährten Menschen.

Die Sputa des Phthisikers enthielten 2.88 Grm. Mucin, 0.36 Grm. Eiweiss und 1.99 Grm. Extraktivstoffe. Die trockenen Sputa lieferten nach meinen Analysen im Mittel 11.13 % Stickstoff, also wesentlich mehr wie die trockenen bronchitischen, welche letztere von organischen Stoffen beinahe nur Mucin einschliessen. In 6.72 Grm. trockenen Sputis von 24 Stunden befinden sich demnach 0.75 Grm. Stickstoff. Die 2.88 Grm. Mucin und die 0.36 Grm. Eiweiss geben zusammen 0.42 Grm. Stickstoff, es bleiben daher noch 0.33 Grm. Stickstoff für die Extraktivstoffe übrig. Die 0.75 Grm. Stickstoff in dem 24stündigen Auswurfe betragen 6.0 % des Stickstoffverbrauchs des hungernden und 3.8 % des Stickstoffverbrauchs des wohlgenährten Menschen.

Der Verlust an Kohlenstoff durch den Auswurf ist im Verhältniss zum sonstigen täglichen Kohlenstoffverbrauch fast verschwindend.

---

1) 1. Bronchitis:

a) 0.659 Grm. trocken neutralisiren bei der Verbrennung 4.75 Cc. $SO_3$ (1 Cc. = 0.0103 N) = 0.01895 Grm. N = 7.43 % N.

b) 0.792 Grm. trocken neutralisiren bei der Verbrennung 5.53 Cc. $SO_3$ = 0.05699 Grm. N = 7.20 % N.

2. Phthisis:

a) 0.6670 Grm. trocken neutralisiren bei der Verbrennung 7.00 Cc. $SO_3$ = 0.07213 Grm. N = 10.81 % N.

b) 0.5690 Grm. trocken neutralisiren bei der Verbrennung 6.33 Cc. $SO_3$ = 0.06523 Grm. N = 11.46 % N.

Ich habe Bestimmungen des Kohlenstoffgehaltes der trockenen Sputa nicht für nöthig gehalten; er wird von dem des Eiweisses oder Mucins mit 53.5 und 52.2% nicht wesentlich abweichen. Nehmen wir selbst 76.5% Kohlenstoff in der trockenen aschefreien Masse an, wie im Fett, so würden im bronchitischen Auswurf (bei 1.7 Grm. Kohlenstoff) nur 0.8% und im phthisischen Auswurf (bei 4.3 Grm. Kohlenstoff) nur 2.1% des Kohlenstoffverlustes des hungernden Menschen ausgeschieden. Legt man den Kohlenstoffgehalt des Eiweisses zu Grunde, so würden sich statt 1.7 Grm. Kohlenstoff im bronchitischen Auswurf 1.2 Grm. berechnen, und statt 4.3 Grm. im phthisischen Auswurf 3.0 Grm. Die Abweichungen sind also jedenfalls so gering, dass man für den Kohlenstoffverlust durch die Sputa annehmen kann, es werde eine Substanz nahezu von dem Kohlenstoffgehalte des Eiweisses dadurch entfernt, und nur sehr wenig andere Stoffe, welche dem Zerfalle anderer Substanzen entstammen, beigemischt.

Was den Verlust von Aschebestandtheilen betrifft, so beträgt dieser für den Auswurf bei der Bronchitis täglich 0.86 Grm. und bei der Phthisis 1.02 Grm. Dies macht nun allerdings 4.5% und 5.3% der beim Körper im Harn ausgeschiedenen Aschebestandtheile aus oder 3.3% und 4.0% der bei reichlicher Ernährung im Harn befindlichen. Aber man muss dabei bedenken, dass die durch die Nieren entfernten anorgischen Stoffe grösstentheils überschüssig sind und im Bedürfnissfalle zurückgehalten und verwerthet werden können.

Es werden daher für die täglichen Sputa bei der Bronchitis etwa 2.3 Grm. Eiweiss und bei der Phthisis 5.6 Grm. Eiweiss verwendet, welche dem Körper entzogen werden; dies macht, wie gesagt, im ersten Falle 1.8% der beim Hunger und 1.1% der bei reichlicher Nahrung normal zersetzten Eiweissmenge aus, in letzterem Falle 6.0% und 3.8%.

Es frägt sich nun, ob man diese Verluste für gross genug hält, um daraus eine Abmagerung oder ungenügende Ernährung des Körpers abzuleiten, oder ob man schliessen will, dass der Verlust so klein ist, dass er leicht ausgeglichen werden kann, z. B. durch eine kleine Mehrzufuhr von Substanz in der Nahrung oder eine etwas

grössere Zersetzung von Eiweiss im Körper. Man muss dabei noch bedenken, dass es sich bei meinen Zahlen um Maximalwerthe handelt. Es ist meiner Meinung nach nicht der geringe Stoffverlust, welcher schädlich wirkt, denn wir verlieren durch die Abschuppung der Epidermiszellen, durch Ausfallen der Haare, durch den Weggang von Epithelzellen, von Speichel, Schweiss etc. etc. leicht ebensoviel an fester Substanz, ohne dass Ernährungsstörungen darnach sich einstellen. Möglicherweise ist es nicht gleichgültig, ob die angegebenen Mengen von Stickstoff in Eiweiss der Ernährungsflüssigkeit oder in durch die Epithelzellen in Mucin umgewandeltem Eiweiss oder in dem in jungen Zellen enthaltenen Eiweiss dem Körper entzogen werden. Darüber zu entscheiden, muss anderen Erörterungen vorbehalten werden.

Zu welcher Ansicht man auch hierüber kommen möge, so war es vor Allem meine Aufgabe, eine annähernde Vorstellung von der Quantität der dem Körper durch die Sputa entzogenen Stoffe zu erhalten, um die Bedeutung dieses Sekretes gegenüber den andere Ausscheidungen würdigen zu lernen.

---

# Ueber die Bestimmung des Wassers mittelst des Pettenkofer'schen Respirationsapparates.

Von

**Carl und Ernst Voit und Josef Forster.**

Bei der Herstellung seines Respirationsapparates hatte Pettenkofer alsbald Controlversuche über den Grad der Genauigkeit der durch denselben erhaltenen Resultate als nothwendig erkannt, und er hatte damit für Instrumente der Art eine neue Bahn betreten.

Bei complicirten Apparaten, wie es immer die Hülfsmittel zur Bestimmung des Gasaustausches bei thierischen Organismen sind, ist es für den menschlichen Geist unmöglich, von vorne herein Alles so zu überblicken und Alles so einzurichten, um mit Sicherheit sagen zu können, dass alle Voraussetzungen wirklich erfüllt sind und gar keine unvorhergesehenen Einflüsse mitwirken. So lange durch Controlversuche nicht dargethan ist, dass in dem Apparate unter analogen Verhältnissen, unter denen darin ein Mensch oder ein Thier athmet, in bekannten Mengen entwickelte Kohlensäure oder Wasser genau wieder gefunden werden können, so lange hat der Zweifel seine volle Berechtigung.

Nur an der Hand der Controlversuche war es möglich, den Respirationsapparat allmählich zu dem Grade seiner Vollendung zu bringen; nur durch sie wurden die groben Fehler, welche Anfangs namentlich bei der Anwendung von Aspiratoren zur Wegnahme der zu untersuchenden Luftproben vor Einführung der kleinen Saugpumpen gemacht wurden, dann die durch den hygroskopischen Holzboden, durch den Kohlensäure entwickelnden Asphaltboden am Weender-Apparate gesetzten Fehler aufgedeckt. Solche Fehler wären sicherlich noch ungleich grösser gefunden worden, wenn die

von Pettenkofer eingeführte Methode nicht auf Differenzbestimmungen beruhen würde, welche die nicht genug zu schätzende Bedeutung haben, dass dadurch die constanten Fehler eliminirt werden.

Man sollte denken, dass von nun an alle diejenigen, welche ähnliche Apparate gebrauchen, sich des von Pettenkofer angegebenen und erprobten Hülfsmittels bedienen, um sich und Andere von der Genauigkeit ihres Arbeitens zu überzeugen. Dies ist aber den Meisten zu unbequem, ebenso wie die ähnliche Forderung an diejenigen, welche den Eiweissumsatz bei einem Thiere studiren wollen, zuerst durch den erreichten Gleichgewichtszustand im Stickstoff der Nahrung und der Ausscheidungen darzuthun, dass sie auch den den Körper verlassenden Stickstoff, so weit es für solche Zwecke nöthig ist, zu finden vermögen.

So wie Letzteres stets noch vernachlässigt wird, so geschieht es auch mit dem Ersteren, da es heut' zu Tage leider nur zu häufig darauf ankommt, rasch irgend eine Mittheilung gemacht zu haben, und man immer seltener Alles Mögliche aufgewendet findet, um den Ergebnissen durch ausdauernde Arbeit den höchst möglichen Grad von Wahrscheinlichkeit zu geben. Ja Forscher, welche früher mit anderen Apparaten gearbeitet haben, suchen die von Pettenkofer geübte Methode der Controle zu verdächtigen, als ob sie sich dadurch der Verpflichtung der Controle überhaupt überheben könnten; genau so wie diejenigen, welche gerne uncontrolirte Untersuchungen über die Eiweisszersetzung anstellen möchten, an der Methode allerlei auszusetzen finden.

Zur Controlirung der Genauigkeit der Bestimmung der Kohlensäure in seinem grossen Apparate verbrannte Pettenkofer in dem Luftstrome desselben einen Kohlenstoff haltigen Körper von bekanntem Kohlenstoffgehalte, und untersuchte dann, wie weit die berechnete und die gefundene Menge Kohlensäure zusammenstimmen. Er wählte bekanntlich zu dem Zwecke gute Stearinkerzen, welche in ruhiger Luft ohne allen Russ und Rauch brennen. Er theilte[1])

1) Pettenkofer, Abhandl. d. math. phys. Classe d. k. b. Akad. d. Wissensch. 1862. Bd. 9. Abthl. 2. S. 231; und Annalen der Chem. u. Pharm. 1862. II. Suppl.-Bd.

die Resultate von fünf in fortlaufender Reihe gemachten und von zwei weiteren Controlversuchen mit, bei denen die durchschnittliche Genauigkeit sich zu 0.6% ergab und der grösste Fehler 1.6% betrug. Wir fügen die Ergebnisse derselben zur leichteren Orientirung hier bei, und reihen die eines anderen von Pettenkofer schon veröffentlichten Versuches an[1]):

Tabelle 1.

| Datum | Kohlensäure | | | |
|---|---|---|---|---|
| | berechnet | gefunden | Differenz absolut | Differenz in % |
| 1) 14. März 1861 | 290.7 | 289.0 | — 1.7 | — 0.6 |
| 2) 3. Mai 1861 | 229.1 | 228.0 | — 1.1 | — 0.5 |
| 3) — | 590.3 | 590.4 | + 0.1 | + 0.02 |
| 4) — | 288.7 | 286.0 | — 2.7 | — 0.9 |
| 5) — | 606.4 | 606.6 | + 0.2 | + 0.03 |
| 6) 28. März 1862 | 269.1 | 273.4 | + 4.3 | + 1.6 |
| 7) 25. April 1862 | 263.2 | 264.7 | + 1.5 | + 0.6 |
| 8) 3. Dez. 1862 | 293.1 | 298.8 } 295.1 } | + 3.8 | + 1.3 |

Es sind später noch viele Controlversuche der Art für Kohlensäure angestellt worden, um von Zeit zu Zeit zu prüfen, ob an dem Apparate noch Alles in Ordnung sich befindet, und sie haben stets das gleiche Ergebniss geliefert. Wir werden eine Anzahl von Controlversuchen für Kohlensäure mit Stearinkerzen in dieser unserer Abhandlung noch mittheilen, welche das Gesagte erhärten werden. Henneberg hat mit einem nach dem Muster des Pettenkofer'schen gebauten Apparate ebenfalls Kohlensäurecontrolversuche mit Stearinkerzen angestellt, auf welche wir später noch zu sprechen kommen, und dabei ein ähnliches Resultat erhalten. Es besteht über die Brauchbarkeit der Stearinkerzen zur Controlirung der Bestimmung der Kohlensäure für den in München aufgestellten Pettenkofer'schen Respirationsapparat kein Zweifel.

1) Pettenkofer, Sitz. Ber. d. k. b. Akad. d. Wissensch; math. phys. Classe, 14. Febr. 1863. S. 153 (Versuch 1.)

Als sich im Verlaufe der von Pettenkofer und C. Voit am Hunde ausgeführten Untersuchungen die Nothwendigkeit der Bestimmung des durch Haut und Lungen abgegebenen Wassers herausstellte, wurden alsbald (im Frühjahre 1862) auch für das Wasser Controlversuche ausgeführt.[1])

Da die brennende Stearinkerze in der gleichen Zeit viel weniger Wasser liefert als das athmende Thier, so verdunstete damals Pettenkofer bei den meisten Bestimmungen mit einer kleinen Weingeistflamme in einer flachen Schale befindliches Wasser; zu einigen Versuchen bediente er sich auch der Stearinkerzen. Diese Bestimmungen des Wassers fielen nun sämmtlich weniger genau aus als die der Kohlensäure; die Fehler von drei Versuchen mit Verdampfung von Wasser betrugen —6.3%, —3.5% und —1.2%, und zwar wurde dabei die Genauigkeit mit der Zeitdauer und also der Menge des verdampften Wassers grösser; der Fehler bei Verbrennung von 93.7 Grm. Stearin in 8 Stunden betrug + 3.7%, der bei Verbrennung von 95.9 Grm. Stearin —6.7%. Die Zahlenwerthe waren folgende:

Tabelle 2.

| Datum | Dauer des Versuchs | verbrannt und verdunstet | Wasser | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | berechnet | gefunden | Differenz absolut | Differenz in % |
| 1) 17. Febr. 1862 | 8 St. | 122.9 Weingeist<br>398.3 Wasser | 540.0 | 505.8 | — 34.2 | — 6.4 |
| 2) 19. Febr. 1862 | 12 St. | 181.8 Weingeist<br>546.5 Wasser | 756.1 | 729.4 | — 26.7 | — 3.6 |
| 3) 21. Febr. 1862 | 24 St. | 250.4 Weingeist<br>1184.3 Wasser | 1423.0 | 1405.7 | — 17.3 | — 1.5 |
| 4) 28. März 1862 | 8 St. 55 M. | 95.9 Stearin | 109.0 | 95.4 | — 13.6 | — 6.7 |
| 5) 25. April 1862 | 8 St. | 93.7 Stearin | 106.5 | 110.4 | + 3.9 | + 3.7 |

Dieser Fehler war für die Versuche am Thiere von keiner Bedeutung, denn es konnte ganz gleichgültig sein, ob das Thier

1) Pettenkofer, Sitz. Ber. d. k. b. Akad. d. Wissensch. 1862. Bd. 2 S. 56 und Annal. d. Chem. u. Pharm. 1862. II. Suppl.-Bd.

z. B. statt 500 Grm. Wasser in Wirklichkeit 525 Grm. ausschied, da keine Schlüsse gezogen wurden, welche auf so geringen Differenzen beruhen. Man durfte bei dem Wachsen der Genauigkeit mit der Zeitdauer der Controlversuche mit Recht voraussetzen, dass der Fehler bei den 24stündigen Versuchen am Thier wesentlich geringer ausfalle; es wurde daher damals der mittlere Fehler bei der Wasserbestimmung in den letzteren Versuchen zu 1.5% angenommen.

Pettenkofer hielt damit den Gegenstand für erlediget. Als aber im Winter 1862 auf 1863 die Untersuchungen an Thieren wieder aufgenommen wurden, so stimmten die Controlversuche mit Kerzen wohl für die Kohlensäure überein (siehe S. 128, Versuch vom 3. Dez. 1862 in Tab. 1), aber für das Wasser fehlten etwa 33 Grm. für 1 Kerze = 30%. Es stellte sich alsbald heraus, dass der im Kasten befindliche, wohl gefirnisste Holzboden durch das Einheizen im Winter Wasser aufnahm oder abgab. Nach der Entfernung des Holzwerkes war der grosse Fehler in der Wasserbestimmung nicht mehr vorhanden, und gaben 4 Controlversuche, wobei zum ersten Male unter Anwendung von 4 Saugpumpen je 2 Proben der ein- und abströmenden Luft untersucht wurden,

Tabelle 3.

| Datum | Kohlensäure | | | | Wasser | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | berechnet | gefunden | Differenz absolut | Differenz in % | berechnet | gefunden | Differenz absolut | Differenz in % |
| 1) 19. Jan. 1863 | 238.5 | 233.3, 235.7 | — 4.0 | — 1.7 | 102.1 | 94.6, 105 9 | — 1.9 | — 2.9 |
| 2) 23. Jan. 1863 | 237.9 | 244.7, 242.6 | + 5.7 | + 2.4 | 101.7 | 92.7, 91.0 | — 9.8 | — 8.7 |
| 3) 27. Jan. 1863 | 242.6 | 247.8, 244.9 | + 3.7 | + 1.5 | 103.9 | 136.4, 140.8 | + 34.7 | + 33.4 |
| 4) 4. Febr. 1863 | 248.0 | 253.5, 253.6 | + 5.5 | + 2.2 | 105.6 | 101.1, 95.7 | — 7.2 | — 6.8 |
| 5) 3. Aug. 1863 | 226.4 | 221.7, 221.6 | — 4.7 | — 2.1 | 92.4 | 110.7, 104.2 | + 15.0 | + 16.2 |
| 6) 4. Aug. 1865 | 207.8 | 213.9 | + 6.1 | + 2.9 | 84.2 | 78.1 | — 6.1 | — 7.3 |

folgende Zahlen,[1]) denen ich die von 2 weiteren Versuchen der damaligen Zeit hinzufüge: (siehe Tab. 3 pag. 130.)

Diese Versuche ergaben alle, bis auf den fünften und dritten, dessen auffälliges Resultat Pettenkofer durch Abdunsten von Wasser von den vorher abgewaschenen Fenstern der Kammer ableitete, ein Minus von Wasser und zwar im Mittel von 6.4 Grm. oder 9.8%. Auf 1000 Liter Luft schwankten darnach die Angaben der Doppelbestimmungen für die Kohlensäure im Mittel um 14 Milligr., für das Wasser um 46 Milligr. Man kann daraus berechnen, dass bei einem 24stündigen Versuche mit dem Hunde und einer Ventilation von 300,000 Litern der mittlere Fehler etwa 4 Grm. Kohlensäure und 14 Grm. Wasser beträgt.

Es schien nicht auffallend, dass die Wasserbestimmungen einen geringeren Grad von Genauigkeit ergaben als die der Kohlensäure, da man es beim Wasser im Gegensatze zu der Kohlensäure mit einem leicht condensirbaren Stoffe zu thun hat. An den eine Oberfläche von 33 □Meter bietenden Wandungen des Kastens oder an den langen Leitungsröhren konnte sich Wasser niederschlagen oder vorher darin niedergeschlagenes Wasser verdunsten, nach Maassgabe des Wassergehaltes und der Temperatur der durchgesaugten Luft. In der Mehrzahl der Versuche wurde in der That auch weniger Wasser erhalten als nach der Voraussetzung hätte erhalten werden sollen, was man einfach der Ausgleichung zwischen dem erhöhten Wassergehalte der Luft in der Kammer während des Versuches und den hygroscopischen Eigenschaften der Kammerwände zuschrieb. Man hatte daher vor der Hand dahier keine Veranlassung der Sache weiter nachzugehen, da es vorgezogen wurde, die Methode nur so weit zu verschärfen, als es erforderlich war, um aus den dadurch erlangten Resultaten die nöthigen Schlüsse zu ziehen, als der Methode die denkbar grösste Vollkommenheit zu geben, um mit ihr im besten Falle doch nicht weiter zu kommen wie mit der unvollkommneren.

Zwei Umstände nöthigten endlich der Frage wieder grössere

1) Pettenkofer, Sitz.-Ber. d. k. b. Akad. d. Wissensch.; math. phys. Classe, 14. Febr. 1863. S. 152.

Aufmerksamkeit zu schenken. Wir hatten dahier Bestimmungen der von einem Menschen abgegebenen Wärmemenge in Angriff genommen; man musste zu dem Zwecke auch wissen, wieviel Wasser vom Körper abdunstet, und da schien es von Bedeutung, die Bestimmung des Wassers mit dem Respirationsapparate genauer als bisher ausführen zu können; wir waren zudem aus bestimmten Gründen genöthigt, bei den Wärmeversuchen eine möglichst grosse Ventilation zu geben, wodurch die Genauigkeit der Ermittelung des Wassers noch mehr beeinträchtigt wurde. Zum Andern hatte Henneberg[1]) mit seinem nach dem Muster des Pettenkofer'schen gebauten Respirationsapparate bei den Wassercontrolversuchen ganz enorme Differenzen zwischen Rechnung und Versuch erhalten, und er war trotz vielfältigster Bemühungen nicht im Stande die Ursachen für diesen Fehler aufzufinden.

Wir begannen daher uns abermals mit den Wasserbestimmungen zu beschäftigen.

Es hat uns die Klarlegung aller hier einschlagenden Verhältnisse viel Mühe gemacht und viel Zeit gekostet; es musste zuletzt, nachdem wir fortwährend im Dunkeln uns befanden, planmässig Schritt vor Schritt vorwärts gegangen werden. Wir lieben es sonst nicht, auf alle verfehlten Anläufe bei einer Untersuchung einzugehen; aber in diesem Falle ist es nöthig, um den Apparat, mit dem wir arbeiten, genau kennen zu lernen und darzuthun, wie man mit ihm arbeiten müsse, da Andere sonst versucht sein könnten, Fehler in den Bestimmungen auf einen Fehler im Prinzipe des Apparates, statt auf ihr eigenes Unvermögen zu schieben.

Da der hiesige Apparat in der Wasserbestimmung viel geringere Differenzen gab, so mussten die Ursachen für die abweichenden Angaben des Weender-Apparates vor Allem in den Veränderungen gesucht werden, welche an dem letzteren angebracht worden waren. Die Bestimmungen der Kohlensäure fielen ferner mit beiden Apparaten so genau aus, als man es nur wünschen konnte; es lag also, so schien es, nicht an der Kerze, sondern nur an dem unvoll-

1) Henneberg, neue Beiträge zur Begründung einer rationellen Fütterung der Wiederkäuer, 1870. S. 39—67.

kommenen Erhalten des von der Kerze bei der Verbrennung gelieferten Wassers. Diese Ueberlegung hielt die Aufmerksamkeit nach einer bestimmten Richtung fest, und da unglücklicher Weise auf ihr der Hauptgrund für den Fehler nicht zu suchen war, so irrten wir so lange im Dunkeln umher.

---

Wir hielten, wie gesagt, die hygroscopische Eigenschaft der Wände für den Hauptgrund der mangelhafteren Resultate unserer Wassercontrolversuche, und wir meinten, dass dieser Fehler durch die geringe Menge der untersuchten Luft, namentlich bei ausgiebiger Ventilation, stark vergrössert werde. Da nun die Dimensionen des für Versuche mit Rindern berechneten Weender-Apparates bedeutendere sind, als die des hiesigen, nämlich 17.5 Cubikmeter Inhalt und 41 □Meter Oberfläche gegen 12 Cubikmeter und 33 □Meter des hiesigen, so schien sich Alles ungezwungen dahin zu vereinigen, dass Wasserdampf an den Wandungen des Kastens und der Hauptröhren bis zur Abgangsstelle der engen Röhren für die Proben der zu untersuchenden inneren Luft sich niederschlägt oder früher daselbst niedergeschlagenes Wasser weggenommen wird; denn wegen der grösseren Oberfläche und der etwa 4 Mal grösseren Ventilation am Weender-Apparate muss ein solcher Fehler dabei ungleich mehr anwachsen.

Auf diese Weise konnte ein Minus oder ein Plus von Wasser seine Erklärung finden. Es war leicht möglich, dass wenn in den Wintermonaten das Zimmer, in welchem der Versuchskasten sich befindet, angeheizt wurde und die ziemlich dicken Wände der eisernen Kammer oder der Hauptröhren bei Beginn des Versuchs sich noch nicht genügend erwärmt hatten, Wasser der durchgesaugten wärmeren Luft sich an den kalten Wandungen niederschlug. Oder es war möglich, dass, wenn nach Abschluss eines Versuches die wasserreiche Luft im Kasten stehen blieb, sich Wasser daraus beim Erkalten des Raumes niederschlug, das dann beim nächsten Versuche mitgenommen wurde. Da sich nun in der Mehrzahl der Versuche ein Deficit ergab, so wäre der erstere Fall am häufigsten aufgetreten. Es ist nicht schwer, die Wahr-

scheinlichkeit für denselben zu berechnen. Denn da der Wassergehalt der in der Kammer befindlichen Luft und die Temperatur der Zimmerluft bekannt sind, so kann man berechnen, um wieviel Grade die Wände des Kastens und der Röhren kälter sein müssten, als die Zimmerluft, um eine Condensation von Wasser zu bewirken. Dabei ergiebt sich, dass diese Abkühlung in 4 Fällen nur zwischen 2.3 und 4.6⁰ betragen dürfte, in allen anderen Fällen dagegen zwischen 5.0 und 18.5⁰, im Mittel also 10⁰; es ist noch zu bemerken, dass die Luft in der Kammer stets eine um etwa 2⁰ höhere Temperatur besitzt als die des Zimmers, was die Zahlen noch günstiger stellt. Aber auch in den 4 ungünstigsten Fällen war das Wasserdeficit nicht grösser als in den übrigen.

Ausserdem ist gegen eine Condensation von Wasser an den Wänden anzugeben, dass es sich bei dem hiesigen Apparate manchmal um einen Fehler von 34 Grm. Wasser und mehr handelt, welche man bei einer stattfindenden Condensation doch bemerken sollte; es war aber niemals der leiseste Beschlag an den Glastafeln der Fenster wahrzunehmen, und wenn wir gleich nach einem der später angegebenen Controlversuche, wo der absolute Fehler manchmal bis zu 70 Grm. Wasser betrug, mit einem vorher gewogenen Bogen Filtrirpapier auf's Sorgfältigste die Wände des Kastens abrieben, konnten wir in keinem Falle eine Vermehrung des Gewichtes des Papiers constatiren. Wenn sich ferner auch am Anfange des Versuches an den kälteren Wandungen Wasser niedergeschlagen haben sollte, so musste dieses bei der zum Mindesten 6 stündigen Versuchsdauer allmählig wieder weggenommen werden.

Man ist endlich aber auch im Stande diesen Fehler ganz auszuschliessen, wenn man die Temperatur im Zimmer möglichst gleich hält, im Sommer durch Schliessen der Läden, im Winter durch Einheizen, und wenn man vor Beginn des Versuches mehrere Stunden lang den Versuchsraum wie während des Versuches ventilirt, welche Vorsichtsmaassregeln jetzt vor jedem Versuche angewendet werden.

Mit allen diesen Cautelen angestellte Controlversuche änderten jedoch im Resultate derselben nichts Wesentliches.

Dass darin der Fehler nicht zu suchen ist, geht auch aus anderen Versuchen hervor, welche später näher angegeben werden sollen; macht man nämlich einen leeren Versuch, d. h. bringt man keine Kerze in den Kasten und bestimmt man also den Wassergehalt der in den Kasten eintretenden und den der austretenden Luft, so müssen beide Proben verschiedene Resultate liefern, sobald sich Wasser irgendwo im Kasten niederschlägt oder daraus entnommen wird. Die Resultate fallen aber ganz übereinstimmend aus.

Nach diesen Misserfolgen wurde nun die Aufmerksamkeit von dem Kasten und den Hauptröhren ab auf die engeren Zweigröhren gelenkt. Hier genügt schon der Verlust oder Zugang einer kleinen Wassermenge, um einen grossen Fehler hervorzubringen, da nur ein kleiner Bruchtheil der Luft ($\frac{1}{4000}$) untersucht und von diesem aus auf das Ganze gerechnet wird. Wenn beim Brennen einer Kerze 80 Grm. Wasser geliefert und dabei von 200000 durch den Apparat gehenden Liter Luft nur 50 Liter untersucht werden, so befinden sich in letzteren 0.02 Grm. Wasser von der Kerze; bei einer Aufnahme von 1 Milligrm. Wasser aus den Glasröhren berechneten sich statt 80 Grm. Wasser 84 Grm., d. h. man würde einen Fehler von 5% begehen. Bei einer grösseren Ventilation und gleichbleibendem Volum der untersuchten Luft wird der Fehler noch entsprechend grösser, so z. B. bei den Versuchen Henneberg's, welcher in der Stunde 50 Cubikmeter Luft durch die grosse Gasuhr treibt und nur 5 Liter davon untersucht; wenn dabei die Kerzen 100 Grm. Wasser lieferten, so befanden sich in 5 Liter nur 0.01 Grm. Wasser, so dass ein Fehler von 1 Milligr. eine Differenz von 10% hervorruft. Man fasste desshalb damals die Idee durch Untersuchung einer grösseren Luftmenge den genannten Fehler relativ kleiner zu machen, über deren erfolglose Ausführung gleich nachher berichtet werden soll.

Ausser einer Condensation von Wasser könnte eine unvollständige Absorption desselben in den Schwefelsäureapparaten den grösseren Fehler in der Wasserbestimmung bedingen; es ist nicht unwahrscheinlich, dass die Luft unter sonst gleichen Verhältnissen leichten frei von Kohlensäure als von Wasser gemacht

werden kann, welcher Fehler dann bei den Weender-Versuchen mit 12000 multiplicirt wird, während bei uns die Berechnung nur mit der Zahl 4000 vorzunehmen ist.

Pettenkofer hatte die Erfahrung gemacht, dass beim Saugen von Luft durch Absorptionsapparate diese nicht frei von Kohlensäure zu erhalten ist, sobald nur die geringsten, kaum vermeidlichen Undichtigkeiten vorhanden sind, weil durch die letzteren von Aussen Kohlensäure haltige Luft eingesogen wird und Kohlensäure auch von Aussen durch Diffusion in die durch die vorausgehenden Absorptionsapparate von Kohlensäure befreite Luft eindringt. Beim Hindurchdrücken der Luft durch die Absorptionsapparate erhält man dieselbe dagegen mit Leichtigkeit frei von Kohlensäure. Desshalb wird zur Kohlensäurebestimmung beim Pettenkofer-schen Apparate die Luftprobe durch die mit dem Barytwasser gefüllten Röhren hindurchgedrückt. Dieses Prinzip war für die Bestimmung des Wassers nicht angewendet worden, denn die Absorptionsapparate für das Wasser standen vor der Saugpumpe. Dabei war es nun leicht möglich, dass Wasser von Aussen eindringen konnte, namentlich in den zweiten Apparat, wo die Luft durch den ersten schon vom Wasser befreit war, und es musste dieser Fehler ungleich mehr ausmachen als für die Kohlensäure, weil in der äusseren Luft viel mehr Wasser wie Kohlensäure vorhanden ist. Wir meinten damals das Rechte endlich gefunden zu haben, und glaubten, es bedürfe nur eines Versuches, um über alle die Schwierigkeiten hinaus zu sein. Aber als wir die Absorptionsapparate gleich nach den Saugpumpen, zwischen diesen und den Barytwasserröhren aufstellten, blieb Alles beim Alten; die Resultate waren nicht wesentlich genauer und der Hauptfehler nicht beseitigt.

Zur Absorption des Wassers wurde von Pettenkofer Schwefelsäurehydrat genommen; um eine hinreichende Menge der Schwefelsäure aufzunehmen und einen möglichst geringen Widerstand zu bieten, hatte er den Liebig'schen Kugelapparat dahin abgeändert, dass fünf durch kurze Röhren verbundene Kugeln im Kreis in eine Ebene gelegt waren, welche nur zur Hälfte mit der Säure gefüllt wurden; der Eintritt der Luft erfolgte durch ein

senkrecht absteigendes Rohr, der Austritt durch ein senkrecht aufsteigendes Rohr, an welchem aber noch 2 Kugeln angeblasen waren, von denen die oberste mit Asbest locker gefüllt wird, um das Fortschleudern kleiner Tröpfchen Schwefelsäure zu verhindern. Eine Ueberlegung des Vorganges bei der Absorption lehrt, dass diese letztere unter sonst gleichen Umständen um so vollkommener sein muss, je geringer das Volumen der durchtretenden Luft ist und je geringer die Geschwindigkeit derselben ist. Das Volumen der untersuchten Luft konnte in unserem Falle nun nicht noch kleiner genommen werden, aber die Geschwindigkeit derselben ist zu verringern, wenn man den Querschnitt grösser macht. Um die absorbirende Fläche zu vergrössern, wendet man jetzt bei nahezu allen Absorptionsapparaten möglichst lange Röhren an, welche man, um das Gewicht derselben nicht zu sehr zu erhöhen, von geringem Durchmesser nimmt. Man bedenkt aber dabei meist nicht, dass dann die Geschwindigkeit des den Apparat passirenden Luftstromes eine sehr grosse wird und dadurch die Absorption leidet. Gebraucht man dagegen weite Röhren, so nimmt die Geschwindigkeit des Luftstromes ab, und wenn man das Volumen so wählt, dass das Absorptionsgefäss zum Mindesten die durch einen Hub der Quecksilberpumpe angesaugte Luftmenge fasst, so bleibt die letztere in der zwischen den zwei Huben gegebenen Zeit ruhig im Absorptionsapparate, wodurch die Zeit für die vollständige Absorption gegeben ist. Pettenkofer verwarf aus diesen Gründen die früher benützten, nur sehr wenig Luft fassenden, und einen geringen Querschnitt bietenden Kugelapparate, und ersetzte sie durch dünnwandige, etwa 120 Cc. fassende Glaskölbchen, welche mit durch Schwefelsäure getränkten Bimssteinstückchen angefüllt und mit einem doppelt tubulirten Korke verschlossen waren. Es wurde damals mit solchen Kölbchen und neuen Gasuhren, deren Bedeutung noch besprochen werden soll, eine ganze Anzahl von Versuchen angestellt, ohne dass aber die Genauigkeit in der Wasserbestimmung wesentlich zugenommen hätte, wie die folgenden Zahlen darthun werden:

Tabelle 4.

| Datum. | Kohlensäure in 1000 Liter | berechnet | gefunden | Differenz absolut | Differenz in % | Wasser in 1000 Liter | berechnet | gefunden | Differenz absolut | Differenz in % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1) 8. Mai 1871 | 0.8710 A.<br>1.4220 J. | 182.3 | 186.0 | +3.7 | +2.0 | 7.239 A.<br>7.378 J. | 73.7 | 45.9 | — 27.8 | —[illegible] [1]) |
| 2) 31. Mai 1871 | 0.931 A.<br>1.533 J | 190.9 | 186.5 | —4.4 | —2.3 | 8.998 A.<br>9.808 J. | 77.2 | 96.0 | + 18.8 | + 24.3 |
| 3) 14. Aug. 1871 | 0.7762 } A.<br>0.7709<br>1.4154 } J.<br>1.4274 | 195.7 | 196.2 | +0.5 | +0.3 | 14.0008 } A.<br>14.0797<br>14.2589 } J.<br>14.3039 | 78.1 | 73.0 | — 5.1 | — 7.8 |
| 4) 27. Oct. 1871 | 1.8469 } A.<br>1.8496<br>2.2952 } J.<br>2.2802 | 151.0 | 150.8 | —0.2 | —0.1 | 7.4429 } A.<br>7.4555<br>7.6540 } J.<br>7.6619 | 61.6 | 70.1 | + 8.5 | +13.8 [2]) |
| 5) 3. Nov. 1871 | 1.6044 } A.<br>1.6108<br>2.2265 } J.<br>2.2518 | 207.2 | 207.0 | — 0.2 | —0.1 | 6.9919 } A.<br>7.0133<br>7.1649 } J.<br>7.1864 | 84.5 | 56.2 | — 28.3 | — 33.5 |
| 6) 8. Nov. 1871 | 1.3682 } A.<br>1.3690<br>2.0098 } J.<br>2.0341 | 211.0 | 211.5 | +0.5 | +0.2 | 7.1202 } A<br>7.0805<br>7.3605 } J.<br>7.3984 | 86.1 | 89.6 | + 3.5 | + 4.1 |
| 7) 10. Nov 1871 | 1.1418 } A<br>1.1513<br>1.7012 } J.<br>1.6845 | 175.4 | 175.3 | —0.1 | —0.1 | 6.6625 } A.<br>6.6342<br>7.0435 } J.<br>6.9903 | 71.6 | 117.3 | + 45.7 | + 63.8 |
| 8) 27. Nov. 1871 | 0.9526 } A.<br>0.9516<br>1.4869 } J.<br>1.4924 | 170.2 | 167.4 | —2.8 | —1.6 | 5.3769 } A.<br>5.4242<br>5.5184 } J.<br>5.5227 | 69.5 | 37.0 | — 32.5 | — 46.8 |
| 9) 29. Dec. 1871 | 1.0145 A.<br>1.5542 J. | 171.2 | 170.6 | —0.6 | —0.4 | 4.0447 } A.<br>4.0107<br>4.2193 } J.<br>4.2432 | 69.3 | 73.4 | + 4.1 | + 6.0 |

1) Zum ersten Male den grossen Einfluss der genauen Aichung der Gasuhren bemerkt.

2) Zum ersten Male die neuen Gasuhren.

| Datum. | Kohlensäure | | | | | Wasser | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | in 1000 Liter | berechnet | gefunden | Differenz | | in 1000 Liter | berechnet | gefunden | Differenz | |
| | | | | absolut | in % | | | | absolut | in % |
| 10) 5. Jan. 1872 | — | — | — | — | — | 5.1659<br>5.0889 } A.<br>5.3932<br>5.4191 } J. | 72.4 | 84.0 | + 11.6 | + 16.0 |
| 11) 5. Juli 1873 | 0.5809<br>0.5225 } A.<br>1.8529<br>1.8206 } J. | 147.2 | 146.1 | —1.1 | —0.8 | — | — | — | — | — |

Wäre die Wasserbestimmung wegen unvollkommener Absorption so viel weniger genau, so würde die Untersuchung eines grösseren Bruchtheiles der Luft den Fehler nicht verkleinern, da die Geschwindigkeit des durch den Absorptionsapparat gehenden Luftstromes, selbst bei entsprechender Vergrösserung der Absorptionsapparate, die gleiche bleibt.

Es sind auch Wägungs- oder andere Bestimmungsfehler möglich und auch diese fallen für das Wasser ungünstiger aus als für die Kohlensäure. Nehmen wir vorläufig für die Kohlensäure und das Wasser den gleichen Bestimmungsfehler von 1 Milligrm. an, so wird beim Brennen einer Kerze wegen der grösseren Kohlensäure-Differenz der prozentige Fehler für die Kohlensäure geringer sein als für das Wasser. Bei der im Versuche vom 25. April 1862 vorgekommenen Differenz von 3.1310 Kohlensäure und 1.3409 Wasser in 1000 Litern der ein- und abströmenden Luft macht bei der angenommenen Grösse des Bestimmungsfehlers von 1 Milligrm. der Fehler für die Kohlensäure 0.03 %, für das Wasser aber 0.07 % aus. Da aber die Kohlensäure durch die Titrirung ungleich genauer zu bestimmen ist, als das Wasser durch die vierfache Wägung der Schwefelsäureapparate, so stellen sich die Umstände für die Kohlensäure noch ungleich günstiger. Wir haben ein Mal, um die Bedingungen für die Kohlensäure und das Wasser möglichst gleich zu machen, die Kohlensäure nach der Wegnahme des Wassers

durch die Schwefelsäurekölbchen in Kölbchen, in denen mit Natronlauge getränkte Bimssteinstückchen enthalten waren, absorbiren lassen und die Gewichtszunahme derselben bestimmt. Es ergab sich dabei:

Tabelle 5.

| Datum. | Kohlensäure | | | | | Wasser | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | in 1000 Liter | berechnet | gefunden | Differenz absolut | Differenz in % | in 1000 Litern | berechnet | gefunden | Differenz absolut | Differenz in % |
| 3. Jan. 1872 | 0.9355 A.<br>1.5395 J. | 171.8 | 190.8 | +19.0 | +11.0 | 4.5452 } A.<br>4.5445 } A.<br>4.7130 } J.<br>4.6829 } J. | 70.1 | 48.4 | −21.7 | −31.0 |

d. h. die Bestimmung der Kohlensäure fiel hier viel ungenauer aus, als bei der Absorption derselben durch Barytwasser und der Titrirung, und der absolute Fehler war kaum geringer als der des Wassers. Bei Anwendung grösserer Proben und grösserer Absorptionsapparate wächst der Wägungsfehler nicht in entsprechendem Maasse, so dass also die dadurch hervorgebrachten Fehler in diesem Falle etwas verringert werden.

Diese Betrachtungen zeigten also, dass die Ermittelung des Wassers aus mehreren Gründen nicht so sichere Resultate geben kann als die der Kohlensäure: die vollständige Absorption des Wassers aus der Luft ist schwierig, eine Condensation des Wassers in den Zuleitungsröhren leicht möglich und die Fehler bei der Wägung grösser als bei der Titrirung.

Da die durch die beiden letzteren Uebelstände entstehenden Fehler bei Untersuchung grösserer Luftmengen prozentig verringert werden, so gab man sich der Hoffnung hin, durch Vergrösserung der Proben die Resultate günstiger gestalten zu können. Pettenkofer liess deshalb damals grössere Versuchspumpen anfertigen, welche etwa 10 Mal mehr Luft durch grössere Wasserabsorptionskölbchen zogen und zur Untersuchung brachten; aber die Resultate wurden dadurch nicht wesentlich geändert und nicht genauer, wie die folgenden Beispiele zeigen:

## Tabelle 6.

| Datum. | Kohlensäure | | Wasser | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | berechnet | gefunden | untersuchte Luftmge. | | in 1000 Litern | | berechnet[1]) | gefunden | Differenz der | |
| | | | kl. Probe | gr. Probe | kl. Probe | gr. Probe | | | kl. Probe | gr. Probe |
| 1) 6. Juni 1871 | 198.8 | 202.3 | 50.0 | 383 | 7.5607 A.<br>7.8340 J. | 7.5310 A.<br>7.7900 J. | 80.4 | 81.4 kl.<br>83.6 gr. | + 1.0 | — 3.2 |
| 2) 27. Jan. 1872 | — | — | 51.1 | 735 | 5.7807 A.<br>5.9332 } J.<br>5.8902 } | 5.6949 A.<br>5.8921 J. | 74.3 | 55.5 kl.<br>60.4 gr. | — 18.8 | — 13.9 |
| 3) 29. Jan. 1872 | — | — | — | 727 | — | 5.3842 A.<br>5.5920 J. | 74.7 | 62.1 | — | — 12.6 |
| 4) 31. Jan. 1872 | — | — | — | 736 | — | 5.2655 A.<br>5.4108 J. | 65.2 | 42.6 | — | — 22.6 |
| 5) 5. Febr. 1872 | — | — | — | 733 | — | 4.6688 A.<br>5.2366 J. | 195.6 | 171.0 | - | — 24.6 |
| 6) 8. Febr. 1872 | — | — | — | 753 | — | 5.0042 A.<br>5.5349 J. | 191.6 | 163.9 | — | — 28.0 |
| 7) 9. Febr. 1872 | — | — | — | 750 | — | 5.2995 A.<br>5.8085 J. | 186.2 | 153.6 | — | — 32.6 |
| 8) 5. März 1872 | — | — | — | 757 | — | 6.5302 A.<br>7.1222 J. | 167.3 | 177.3 | — | + 10.0 |
| 9) 13. April 1872 | — | — | 57.0 | 728 | 6.956 A.<br>7.299 J. | 6.803 A.<br>7.361 J. | 142.8 | 103.8 kl<br>168.9 gr. | — 39.0 | + 26.1 |
| 10) 17. April 1872 | 363.6 | 362.5 | 50.0 | 819 | 5.8661 A.<br>6.2485 J. | 5.6262 A.<br>6.2129 J. | 148.4 | 125.8 kl.<br>186.8 gr. | — 22.6 | + 38.4 |

1) Wasser in 1) 80.4 von 1 Kerze
2) 74.3 von 1 Kerze
3) 74.7 von 1 Kerze
4) 65.2 von 1 Kerze
5) 71.6 von 1 Kerze }
124.0 verdunstet }
6) 71.2 von 1 Kerze }
120.4 verdunstet }
7) 186.2 verdunstet
8) 70.8 von 1 Kerze }
96.5 verdunstet }
9) 142.8 von 2 Kerzen
10) 148.4 von 2 Kerzen

Daraus erhellt, dass keine der genannten Fehlerquellen die bedeutende Differenz in der Wasserbestimmung bedingt, sondern dafür andere Dinge mit in's Spiel kommen.

Man könnte noch an einen Grund denken, aus dem die Kohlensäure sicherer als das Wasser zu bestimmen ist, worauf von uns eine Zeit lang viel Werth gelegt wurde. Handelt es sich z. B. um die Aufgabe, die Differenz in Gewichten, einmal von 20 und 21 Kilo, zum Andern von 1 und 2 Kilo zu erforschen, so wird dies in dem letzteren Falle ungleich genauer zu erreichen sein. Da nun bei den Controlversuchen in ähnlicher Weise, bei nicht sehr verschiedener Differenz im Wasser- und Kohlensäuregehalte der ein- und austretenden Luft, eine grössere absolute Menge von Wasser zu eruiren ist als von Kohlensäure, so könnte man zu dem Gedanken verleitet werden, dass desshalb die Wasserbestimmung ungenauere Resultate liefert. Dies trifft jedoch in unserem Falle nicht zu, weil die Apparate, in welchen das Wasser aufgefangen und gewogen wird, ein bedeutendes Gewicht gegenüber dem des absorbirten Wassers haben; in dem oben gewählten Beispiele würde aus dem gleichen Grunde die Genauigkeit der Wiegung im zweiten Falle nicht grösser werden, wenn die Wiegung der 1 und 2 Kilo in einem Gefässe von 200 Kilo stattfände.

Henneberg hat zuerst darauf aufmerksam gemacht, dass bei einer Aenderung in der Zusammensetzung der in die Kammer eintretenden Luft dies nicht sofort in der austretenden Luft zur Geltung gelangt, da eine gewisse Zeit vergeht, bis die eingetretene Luft zur austretenden wird. Diese Zeit ist um so länger und desshalb die davon abhängigen Fehler um so bedeutender, je grösser der Kubikinhalt der Kammer und je geringer die Ventilation ist. Es ist auch klar, dass wegen der viel beträchtlicheren absoluten Schwankungen im Wassergehalte der atmosphärischen Luft gegenüber denen im Kohlensäuregehalte im Laufe eines Tages die genannte Fehlerquelle für das Wasser besonders in Betracht kommt. Für unsere Controlversuche ist dieses Moment aber nicht von Belang, da vom Jahre 1871 an in die grössere Kammer eine kleinere von nur 2750 Liter Inhalt eingebaut ist und diese bei der gewöhnlichen Ventilation in etwa 5 Minuten ausgeschöpft ist.

Es waren somit im Laufe der Zeit mannigfache Ursachen aufgedeckt worden, welche die Ermittelung des Wassers in dem Pettenkofer'schen Respirationsapparate zu einer weniger genaueren machen als die der Kohlensäure, aber es war nicht gelungen, trotz allerlei Verbesserungen die bestehende grosse Differenz zu heben und den Grund hiefür zu entdecken. Man musste nun entweder das Räthsel vorläufig für unlösbar halten und auf eine genauere Bestimmung des Wassers verzichten, welche bei den Verhältnissen des hiesigen Apparates für einen 24stündigen Versuch einen mittleren Fehler von 10 Grm. Wasser zeigte, oder man musste sich zu einer ganz systematischen und voraussichtlich ausserordentlich zeitraubenden Arbeit entschliessen. Ja es schien dazumal am wahrscheinlichsten, dass sich bei der Wasserbestimmung eine grosse Anzahl unvermeidlicher Fehler vereinigen und für die Methode der Untersuchung kleiner Bruchtheile hierbei die Grenze der Genauigkeit erreicht sei. Da jedoch eine solche Dunkelheit auf die durch den Apparat überhaupt erhaltenen Resultate drückte, so nahmen wir Drei in Gemeinschaft die Arbeit auf, welche uns das ganze Wintersemester 1873—1874 hindurch beschäftigte.

Es waren für solche Versuche mehrere Arbeiter nothwendig, und zwar geschulte und zuverlässige, die des grossen Apparates völlig Herr waren, denn Versuche, auf welche man sich nicht ganz verlassen konnte, hätten nur noch tiefer in das Labyrinth geführt. Jeder von uns Dreien hatte bei den letzten grösseren Versuchen seinen reichlichen und bestimmten Arbeitsantheil übernommen; die Herrichtung und Zusammenstellung des Apparates mit den vielen Verbindungen, das genaue Wiegen der Wasserabsorptionsapparate etc. konnte nur bei emsiger Thätigkeit bewältigt werden; waren doch für 1 Versuch manchmal allein 32 Wägungen und 20 Titrirungen auszuführen.

Wir giengen zuerst daran, genau zu untersuchen, ob in den langen Röhrenleitungen, die vom Hauptrohr aus durch die Luft zu den Quecksilberpumpen führten, nicht doch Wasser sich niederschlägt oder ob aus ihnen nicht Wasser weggenommen wird. Ganz kleine Mengen Wassers konnten hier, wie vorher aus einandergesetzt worden, sehr störend wirken, da das Resultat und also die

Fehler zum Mindesten mit 4000 multiplicirt werden. Diese Frage fällt zum Theil zusammen mit dem Anschlagen oder Abgeben von Wasser an den Wandungen des Kastens, worüber wir schon eingehend gesprochen haben. Die sogenannten leeren Versuche, d. h. die Untersuchung der ein- und austretenden Luft, ohne dass ein Wasser liefernder Körper im Kasten des Apparates sich befindet, und die Uebereinstimmung der beiden Proben thun auch hier zum Theil dar, dass in der Röhrenleitung für die Proben keine wesentliche Fehlerquelle sich findet. Wir theilen in Folgendem vier solcher Versuche mit:

Tabelle 7.

| Datum | in 1000 Litern | |
|---|---|---|
| | Kohlensäure | Wasser |
| 1) 14. Febr. 1863[1]) | — | 6.0725 } A.<br>6.1181 }<br>6.0762 } J.<br>6.0859 } |
| 2) 2. Juni 1871 | 1.1470 A.<br>1.1480 J. | 7.7020 A.<br>7.7920 } J.<br>7.7220 } |
| 3) 30. Nov. 1871 | 0.6718 } A.<br>0.6919 }<br>0.6924 } J.<br>0.6955 } | 5.0606 } A.<br>5.1078 }<br>5.0771 } J.<br>5.0000 } |
| 4) 10. März 1874 | — | 5.8814 } A.<br>5.8734 }<br>5.8879 } J.<br>5.8205 } |

Um aber allenfallsigen schädlichen Einflüssen von dieser Seite ein für alle Mal auszuweichen, haben wir von nun an die Wasserabsorptionsapparate an den Anfang der Röhrenleitung verlegt, nämlich die für die Probe der äusseren Luft nahe an die Eingangsthüre und die für die Probe der inneren Luft gleich an das von der Kammer abgehende Stück der Hauptröhre. Die Resultate

1) Pettenkofer, Sitz. Ber. d. k. b. Acad. d. Wissensch.; math. phys. Classe, 14. Febr. 1863 S. 158, Versuch 7.

wurden dadurch wohl im Ganzen etwas übereinstimmender, aber der Hauptfehler blieb bestehen, wie schon die beiden ersten in dieser Weise ausgeführten Versuche lehrten.

Tabelle 8.

| Datum. | Kohlensäure in 1000 Liter | berechnet | gefunden | Differenz absolut | Differenz in % | Wasser in 1000 Liter | berechnet | gefunden | Differenz absolut | Differenz in % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1) 16. Oct. 1873 | 1.1589, 1.1282 } A.; 2.3955, 2.3772 } J. | 174.3 | 176.6 | +2.3 | +1.3 | 9.8434 A.; 10.2865 J. | 71.1 | 62.9 | — 8.2 | — 11.5 |
| 2) 21. Oct. 1873 | 0.6593, 0.6328 } A.; 1.8431, 1.8411 } J. | 168.8 | 170.9 | +2.1 | +1.3 | 6.4188 A.; 6.7801 J. | 68.9 | 51.6 | — 17.3 | — 25.1 |

Es versteht sich von selbst, dass die Volumina der Proben der untersuchten Luft genau bekannt sein müssen, da von ihnen aus auf das Volumen der Gesammtluft gerechnet wird. Die Messung geschieht bekanntlich mit Gasuhren, welche für wissenschaftliche Arbeiten zur Messung continuirlicher Gasströme immer noch nicht genügend, wie sie es verdienen, benützt werden. Es wurden anfangs zur Messung der Proben der untersuchten Luft gewöhnliche Gasuhren kleinerer Art verwendet und der prozentige Fehler derselben durch Aichung mit einem bekannten Luftvolumen ein für alle Mal festgestellt, der bei guten Instrumenten 3 % nicht übersteigt.

Schon Pettenkofer hat bei wiederholten Aichungen ein und derselben Gasuhr der gewöhnlichen Art Differenzen in den Angaben gefunden, die sich nur schwer durch eine Aenderung des Wasserniveaus der Uhr durch Verdunstung erklären liessen, Differenzen, welche hinreichten, ganz wesentliche Aenderungen in den Zahlen der Versuchsresultate hervorzubringen. Bei Aichungen, welche von ihm mit den 4 Gasuhren unter Berücksichtigung der Temperatur des Wassers im Aichgefäss, der Luft im Ballon und in der Gasuhr im Laufe eines Monats vorgenommen wurden, ergaben sich in den

prozentigen Werthen Schwankungen von 0.24—1.07 %, im Mittel von 0.65 %. Nimmt man darnach an, dass man nicht im Stande ist, die Angaben der Gasuhr genauer als 0.65 % zu erhalten, so ergibt sich z. B. für den Versuch vom 6. Juni 1871 Folgendes. In 46.9 Liter der äusseren Luft befanden sich 0.3546 Grm. Wasser, also in 1000 Liter 7.5607 Grm. Wasser; da man nach obigem Fehler auch 47.2 Liter Luft hätte annehmen können, so hätten in 1000 Liter Luft auch 7.5127 Grm. Wasser vorhanden sein können. Bei 7.8340 Grm. Wasser in 1000 Liter der inneren Luft, hätte die Differenz im ersten Falle 0.2733 Grm., im zweiten Falle 0.3213 Grm. betragen, und bei einer Gesammtventilation von 298017 Liter im ersten Falle 81.4 Grm., im zweiten Falle 95.7 Grm. Wasser ergeben gegenüber 80.4 Grm. des von der Kerze gelieferten Wassers. Bei den Differenzbestimmungen ist eine gegenseitige Aufhebung der Fehler, aber auch eine Summation derselben möglich. Man erkannte daraus, dass man auf die Angaben der Gasuhr und auf die Aichung derselben viel grössere Aufmerksamkeit richten müsse, als dies früher geschehen war.

Ein Grund der verschiedenen Angaben wurde alsbald in der Einrichtung der Gasuhr selbst gefunden. Die Uebertragung auf den letzten Zeiger geschieht an ihnen durch eine Spindel ohne Ende; der Fehler an einer Gasuhr bleibt desshalb für alle Theile des Zifferblattes nur dann constant, wenn die Windungen der Spindel durch die ganze Länge derselben völlig gleich geschnitten sind. Dies ist nun für die Gasuhren nur selten der Fall, da für gewöhnlich die Messung nicht so genau zu sein braucht. Man ist aber auch nicht im Stande, den dadurch eingeführten Fehler zu bestimmen, da man nie weiss, welcher Gang der Spindel eben benützt wird. Die Unvollkommenheit der Spindel setzt also der Genauigkeit der Aichung der gewöhnlichen Gasuhr die Grenze, und der dadurch hervorgerufene Fehler ist verschieden und seiner Grösse nach nicht bestimmbar. Es wurden daher schon seit längerer Zeit (Oktober 1871) die gewöhnlichen Gasuhren für die dahier aufgestellten Respirationsapparate verworfen und neue gewählt, deren die Unterabtheilungen angebender Zeiger fest mit der Trommel verbunden ist und sich mit ihr bewegt. Befindet sich also dieser Zeiger an einem be-

stimmten Theilstriche des Zifferblattes, so hat die Trommel einen bestimmten und stets den nämlichen Stand, und es lässt sich jetzt durch Aichung der wirkliche Werth einer Trommelumdrehung und auch der eines Theiles einer Drehung leicht ermitteln. Da solche Uhren nur kleine Luftvolumina zu messen haben, so sind sie kleiner als die früheren gewählt worden.

Nun verwendete man auch alle Sorgfalt auf die Aichung der Uhr und überzeugte sich, dass dieselbe jetzt viel weiter getrieben werden konnte als dies früher der Fall war, und dass dies ein ganz wesentlicher Punkt zum Gelingen eines genauen Versuches ist.

Die Aichung geschieht wie früher so, dass ein in einem Aspirator befindliches, durch Wägung bei bestimmter Temperatur genau bekanntes Volum Wasser (etwa 44 Liter) aus diesem in einen Glasballon abläuft und daraus ein gleich grosses Volumen Luft durch die Gasuhr verdrängt. Wenn das Wasser und die Luft im Aspirator, im Ballon und in der Gasuhr nicht die gleiche Temperatur besitzen, so ist eine genaue Aichung nicht möglich, auch wenn man die Differenzen in der Temperatur bestimmt und Reduktionen vornimmt, da sich die Temperatur der Luft und des Wassers sehr rasch und ungleich ändert. Man muss daher den Wasservorrath stets in dem nämlichen Zimmer, in welchem die Uhren und die Aichapparate sich befinden, aufbewahren, und an Tagen die Aichung vornehmen, an denen längere Zeit nur geringe Temperaturschwankungen vorkommen, so dass das Wasser und die Luft sicher die gleiche Temperatur haben. Das Geschäft der Aichung ist sehr rasch beendet, seitdem wir immer das gleiche Wasser verwenden und nach dem Ausfliessen des Aspirators und nach dem Heben des Ballons mittelst eines einfachen Flaschenzuges durch einen Heber das Wasser wieder in den Aspirator zurückfliessen lassen. Führt man auf diese Weise mehrere Aichungen der gleichen Gasuhr in kurzen Zwischenräumen aus, so stimmen sie sehr gut überein.

Das im Aspirator befindliche Wasser wurde in 3 Reihen bei jeder Aichung gewogen und folgende Gewichte desselben erhalten.

Tabelle 9.

| Datum. | Temperatur in °C. | Gewicht des Wassers |
|---|---|---|
| 17. Mai 1873 | 9.4 | 43.695 |
| " | " | 43.705 |
| " | " | 43.705 |
| " | " | 43.710 |
| " | " | 43.690 |
| 4. Juli 1873 | 21.0 | 43.680 |
| " | 20.0 | 43.690 |
| " | 19.5 | 43.680 |
| " | 18.6 | 43.685 |
| 25. Oct. 1873 | 11.9 | 43.710 |
| " | 11.6 | 43.730 |
| " | " | 43.730 |
| " | " | 43.710 |
| 26. Oct. 1873 | 11.4 | 43.720 |
| " | " | 43.720 |
| " | 11.6 | 43.720 |

Die grössten Differenzen betragen demnach nur 40 Grm.

Wenn man die neuen Gasuhren selbst in längeren Zwischenräumen ohne Auffüllen von Wasser aicht, sind die Angaben nicht sehr differirend. So fand sich, als auf Gleichhaltung der Temperatur noch nicht Rücksicht genommen wurde, als Werth für 1 Umgang der Trommel in Liter ausgedrückt:

Tabelle 10.

| Datum. | Gasuhr 1 | Gasuhr 2 | Gasuhr 3 | Gasuhr 4 |
|---|---|---|---|---|
| 28. Oct. 1871 | 2.4468<br>2.4427 | 2.4455 | 2.4285 | — |
| 7. Nov. 1871 | 2.4450 | 2.4567 | 2.4232 | — |
| 18. Nov. 1871 | — | — | 2.4290 | 2.5203<br>2.5241 |

Bei verschiedener Füllung, aber unter Gleichhaltung der Temperatur wurde an den nämlichen Uhren bestimmt:

Tabelle 11.

| Datum. | Gasuhr 1 | Gasuhr 2 | Gasuhr 3 | Gasuhr 4 |
|---|---|---|---|---|
| 4. Juli 1873 | 2.3955 | 2.4510 | 2.3580 | 2.5140 |
| Nov. 1873 | 2.4074 | 2.4672 | 2.3889 | 2.5273 |
| 4. April 1874 | 2.3971 | 2.4532 | 2.4006 | 2.5060 |

Unter den gleichen Umständen erhielten wir für 4 andere Gasuhren:

Tabelle 12.

| Datum. | Gasuhr 5 | Gasuhr 6 | Gasuhr 7 | Gasuhr 8 |
|---|---|---|---|---|
| 17. Mai 1873 | 2.5202 | 2.4780 | 2.4240 | 2.4620 |
| 25. Oct. 1873 | 2.5168 | 2.5005 | 2.4411 | 2.4988 |
| 9. Febr. 1874 | 2.5301 | 2.5108 | 2.4572 | 2.5051 |

Um zu sehen, wie weit man in der Genauigkeit kommt, wurde am 26. Oktober 1873 die gleiche Gasuhr Nro. 5 drei Mal hinter einander geaicht und zwar mit dem folgenden Resultate:

Tabelle 13.

| Gewicht des Wassers | Temperatur in °C. | 1 Umgang zeigt an in Liter |
|---|---|---|
| 43.720 | 11.4 | 2.5156 |
| 43.720 | 11.4 | 2.5164 |
| 43.720 | 11.6 | 2.5139 |

Die grösste Differenz beträgt hier 2.4 Cc.; wir glauben nicht, dass grössere Gasvolumina auf irgend eine andere Methode sicherer gemessen werden können.

So wichtig diese Verbesserung unseres Verfahrens auch war und so sehr sie auch auf die Genauigkeit der Versuche Einfluss übte, so gelang es doch nicht, so wenig wie mit allen den schon angegebenen Verbesserungen den Fehler in der Wasserbestimmung zu heben. Es war dies auch von vornherein zu erwarten, denn eine Unrichtigkeit in der Angabe der Gasuhr hätte ja auch die

Ermittelung der Kohlensäure influirt und diese war immer noch ungleich exakter als die des Wassers.

Alles dies schien von Neuem darauf hinzudeuten, dass die Absorption durch die Schwefelsäurekölbchen eine unvollständige sei. Diese Meinung wurde noch bestärkt, als wir die Differenzen bei den Doppelbestimmungen des Wassers untersuchten, und fanden, dass dieselben in vielen Fällen ziemlich bedeutend sind, wenn sie auch nicht so hoch sich stellen, um daraus den ganzen Fehler bei den Wassercontrolversuchen zu erklären.

Die Doppelbestimmungen der Kohlensäure und des Wassers ergaben für 1000 Liter Luft bei den früher mit Pettenkofer ausgeführten Controlversuchen folgende Differenzen:

Tabelle 14.

| Nr.[1] | Datum | Differenz in 1000 Liter Luft in Milligramm | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | in der Kohlensäure | | in dem Wasser | |
| | | eintretend | austretend | eintretend | austretend |
| 1 | Nov. 1862 | 1.3 | — | 29.5 | — |
| 2 | Nov. 1862 | 0.4 | — | 40.2 | — |
| 3 | 3. Dez. 1862 | 18.9 | 14.1 | 22.3 | 88.2 |
| 4 | 15. Dez. 1862 | 2.0 | 12.3 | 41.5 | 89.1 |
| 5 | 20. Dez. 1862 | — | — | 42.3 | 0.7 |
| 6 | 30. Dez. 1862 | — | — | 8.2 | 24.1 |
| 7 | 2. Jan. 1863 | — | — | 23.7 | 62.5 |
| 8 | 9. Jan. 1863 | — | — | 41.6 | 9.7 |
| 9 | 19. Jan. 1863 | 7.9 | 4.3 | 0.5 | 56.5 |
| 10 | 23. Jan. 1863 | 10.2 | 35.5 | 61.6 | 83.8 |
| 11 | 27. Jan. 1863 | 3.4 | 20.9 | 17.2 | 27.9 |
| 12 | 4. Feb. 1863 | 11.7 | 13.1 | 29.9 | 35.6 |
| 13 | 3. Aug. 1863 | 14.5 | 15.5 | 55.0 | 25.2 |
| 14 | 14. Aug. 1871[2]) | 5.3 | 12.0 | 78.9 | 45.0 |
| 15 | 27. Oct. 1871[3]) | 2.7 | 15.0 | 12.6 | 7.9 |

1) Die ersten 12 Versuche sind von Pettenkofer in den Sitz.-Ber. d. k. b. Acad. d. Wiss. math. phys. Classe 1862. Bd. II. S. 162 u. 1863. Bd. I. S. 152 mitgetheilt.

2) Kölbchen statt der Kugelapparate für die Schwefelsäure.

3) Neue Gasuhren.

| Nr. | Datum | Differenz in 1000 Liter Luft in Milligramm | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | in der Kohlensäure | | in dem Wasser | |
| | | eintretend | austretend | eintretend | austretend |
| 16 | 31. Oct. 1871 | 13.6 | — | 37.7 | — |
| 17 | 3. Nov. 1871 | 6.4 | 25.3 | 21.4 | 21.5 |
| 18 | 8. Nov. 1871 | 0.8 | 24.3 | 39.7 | 37.9 |
| 19 | 10. Nov. 1871 | 9.5 | 16.7 | 28.3 | 53.2 |
| 20 | 27. Nov. 1871 | 1.0 | 5.5 | 47.3 | 4.3 |
| 21 | 29. Dez. 1871 | — | — | 34.0 | 23.9 |
| 22 | 3. Jan. 1872 | — | — | 0.7 | 30.1 |
| 23 | 5. Jan. 1872 | — | — | 77.0 | 25.9 |
| 24 | 27. Jan. 1872 | — | — | — | 43.0 |
| — | Mittel | 6.9 | 16.5 | 34.5 | 37.9 |
| | | 11.7 | | 36.2 | |

Die Differenzen in den Doppelbestimmungen des Wassers sind demnach 3 Mal grösser als die der Kohlensäure; auffallend ist auch, dass die innere Luft grössere Differenzen zeigt.

Wir haben, als wir noch die alten Kölbchen benützten folgende Werthe erhalten:

Tabelle 15.

| Nr. | Datum | Differenz in 1000 Liter Luft in Milligramm | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | in der Kohlensäure | | in dem Wasser | |
| | | eintretend | austretend | eintretend | austretend |
| 1 | 16. Oct. 1873 | 30.7 | 18.3 | — | — |
| 2 | 21. Oct. 1873 | 26.5 | 2.0 | — | — |
| 3 | 4. Nov. 1873 | 31.7 | 7.5 | 46.3 | 62.9 |
| 4 | 10. Nov. 1873 | 1.8 | 12.4 | 18.0 | 42.0 |
| 5 | 14. Nov. 1873 | — | — | 58.4 | 7.4 |
| — | Mittel | 22.7 | 10.0 | 40.9 | 37.4 |
| | | 16.3 | | 39.1 | |

Auch hier ist die Differenz in der Wasserbestimmung grösser als die in der Kohlensäurebestimmung.

Da nun bei diesen Doppelbestimmungen des Wassers die Condensation von Wasser in den Röhren nicht in Betracht kommt

und die Aichung der Gasuhren so sorgfältig als möglich ausgeführt war, so konnte nur die unvollständige Absorption des Wassers in den Schwefelsäurekölbchen oder die Ungenauigkeit bei dem Wiegen der Kölbchen die Ursache obiger Differenzen sein.

Bei unseren Versuchen wurde alle Aufmerksamkeit auf das Wiegen verwendet, da ein Fehler von 1 Mgrm. im Resultate schon eine bemerkenswerthe Abweichung hervorruft. Die Wägungen geschahen mit einer Westphal'schen Wage für 250 Grm. Belastung nach der bekannten Methode durch Schwingungsbeobachtungen. Die einzelne Wägung besitzt eine Genauigkeit von 0.3 Mgr. Correktionen wegen der Aenderungen im Barometerstande und der Temperatur sind hier nicht nothwendig, da die Resultate aus Differenzbestimmungen sich ergeben, und bei den ungünstigsten Annahmen, nämlich bei einer Schwankung in der Temperatur um 5° C. und im Barometerstande von 1 Mm., der Maximalwägungsfehler nur 1.6 Mgr. beträgt.

Wir waren demnach nur mehr darauf angewiesen, die Absorption des Wassers einer sorgfältigen Untersuchung zu unterwerfen.

Es wäre möglich gewesen, dass die Schwefelsäure das Wasser aus der rasch durchstreichenden Luft nicht vollständig absorbirt oder selbst unter Umständen Wasser an sie abgibt. Wir fügten daher in einer Uförmig gebogenen Glasröhre eingeschlossene wasserfreie Phosphorsäure nach der Schwefelsäure noch an[1]), bekamen aber, wie die Tabelle 16 ausweist, keine besseren Resultate.

---

1) Die Phosphorsäureröhrchen nahmen nur sehr wenig zu:

| | äussere Luft | innere Luft |
|---|---|---|
| im Versuch 1) | 0.0035<br>0.0012 | 0.0014<br>0.0010 |
| im Versuch 2) | 0.0014<br>0.0007 | 0.0002<br>0.0014 |
| im Versuch 3) | 0.0012<br>0.0002 | 0.0018<br>0.0017 |

Tabelle 16.

| Datum | Kohlensäure | | | | | Wasser | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | in 1000 Liter | berechnet | gefunden | Differenz absolut | Differenz in % | in 1000 Liter | berechnet | gefunden | Differenz absolut | Differenz in % |
| 1) 4. Nov. 1873 | 0.6282<br>0.6609 } A.<br>1.8293<br>1.8218 } J. | 165.5 | 166.7 | +1.2 | +0.7 | 7.3894<br>7.4357 } A.<br>7.9137<br>7.8508 } J. | 67.6 | 66.4 | — 1.2 | — 1.8 |
| 2) 10. Nov. 1873 | 0.8718<br>0.8700 } A.<br>2.0477<br>2.0353 } J. | 167.9 | 165.0 | —2.9 | —1.7 | 7.8390<br>7.8570 } A.<br>8.2590<br>8.2170 } J. | 68.5 | 55.1 | — 13.4 | — 19.6 |
| 3) 14. Nov. 1873 | — | — | — | — | — | 5.8569<br>5.9153 } A.<br>6.2872<br>6.2798 } J. | 70.0 | 55.8 | — 14.2 | — 20.3 |

Es blieb uns darnach nur noch übrig eingehende Versuche über die Absorptionsfähigkeit der Schwefelsäurekölbchen für Wasser anzustellen. Wir benützten dazu den kleinen, durch ein oberschlächtiges Wasserrad getriebenen und sonst nach dem Principe des grossen Pettenkofer'schen gebauten Respirationsapparat, welcher in einem der nächsten Hefte dieser Zeitschrift beschrieben werden soll.

Wir zogen zuerst (am 24. Oktober 1873) aus dem gleichen Glasrohr 4 Proben äusserer Luft während 6 Stunden je durch 2 Schwefelsäurekölbchen, welche also, wenn Alles in Ordnung sich befand, ganz gleiche Resultate geben sollten. Dies war aber durchaus nicht der Fall, denn wir erhielten in 1000 Liter Luft bei:

1) 7.7850 Grm. Wasser,
2) 7.8100 „ „
3) 7.8930 „ „
4) 7.8150 „ „

Schon Pettenkofer[1]) hat früher einen ähnlichen Versuch an-

1) Pettenkofer, Sitz. Ber. d. k. b. Akad. d. Wissensch. math. phys. Classe 1868. Bd. I. S. 156, Versuch 6.

gestellt und veröffentlicht, jedoch eine etwas geringere Differenz erhalten, nämlich für 1000 Liter Luft:

1) 5.9974 Grm. Wasser,
2) 5.9796 „ „
3) 5.9762 „ „
4) 5.9674 „ „

Es wurde nun (am 30. Oktober 1873) an das zweite Schwefelsäurekölbchen eine mit wasserfreier Phosphorsäure angefüllte, U förmig gebogene Röhre angehängt; das Resultat fiel aber noch etwas ungünstiger aus als das des vorigen Versuches, denn es ergaben sich in 1000 Liter Luft:

1) 8.4600 Grm. Wasser,
2) 8.3210 „ „

Die Phosphorsäureröhren nahmen dabei nur um 1.0 und 1.9 Mgr. zu.

Wir richteten jetzt die Versuche so ein, dass wir der äusseren Luft in 2 Schwefelsäurekölbchen ihr Wasser völlig entzogen, dann die trockene Luft durch 2 Kölbchen, in welchen mit Wasser getränkte Bimssteinstückchen sich befanden, wieder befeuchteten, und endlich durch 2 Schwefelsäurekölbchen dieses Wasser wieder absorbiren liessen. Es ist klar, dass die Schwefelsäurekölbchen um ebensoviel an Gewicht zunehmen mussten, als die Wasserkölbchen daran abgenommen hatten. Es wurden zwei solcher Versuche (1 und 2) gemacht, und in jedem derselben zur Controle 2 Proben (a und b) der gleichen äusseren Luft genommen, die wir durch 2 Pumpen durch je eines der genannten Systeme saugen liessen. Wir erhielten dabei in 1000 Liter Luft:

| | | 1. (21 Nov. 1873) | 2. (28. Nov. 1873) |
|---|---|---|---|
| 2 Schwefelsäurekölbchen | a) | 5.3668 | 6.4458 |
| | b) | 5.5377 | 6.4152 |
| 2 Wasserkölbchen | a) | 11.0962 | 9.9150 |
| | b) | 11.4890 | 9.9970 |
| 2 Schwefelsäurekölbchen | a) | 11.1855 | 9.9598 |
| | b) | 11.5710 | 9.9153 |

Die grösste Differenz in 1) betrug demnach 74.8 Mgr., in 2) 82.0 Mgr., was entschieden zu viel ist.

Um hierüber noch mehr in's Klare zu kommen, stellten wir in einer einzigen langen Kette 10 Kölbchen, und zwar 6 mit Schwefelsäure und 4 mit Wasser beschickte in der Art auf, dass ein und dieselbe durch eine Pumpe gesogene Luftprobe zuerst durch Schwefelsäure von ihrem Wasser befreit, dann wieder befeuchtet, dann getrocknet, abermals befeuchtet und endlich wieder getrocknet wurde. Die vier letzten Fälle sollten also genau die gleichen Werthe liefern, wenn die Methode gehörig ausgebildet war. Es ergab sich in 1000 Liter Luft bei 2 derartigen Versuchen:

| | 1. (1. Dez. 1873) | 2. (8. Dez. 1873) |
|---|---|---|
| 2 Schwefelsäurekölbchen | 5.7305 | 3.6586 |
| 2 Wasserkölbchen | 11.0920 | 9.2103 |
| 2 Schwefelsäurekölbchen | 11.1140 | 9.1919 |
| 2 Wasserkölbchen | 11.2380 | 9.3725 |
| 2 Schwefelsäurekölbchen | 11.1750 | 9.4257 |

Die Differenzen sind so gross (146 und 234 Mgr.), weit über die Wiegungsfehler hinausgehend, dass irgendwie in den Absorptionsapparaten noch unbekannte Quellen für Fehler vorhanden sein mussten.

Um das Nähere über die Art der Absorption in den Schwefelsäurekölbchen zu erfahren, spannten wir jetzt sechs solcher Kölbchen hinter einander ein und saugten mittelst einer Pumpe 68.22 Liter Luft darüber. Das Resultat (vom 10. Dezember 1873) war:

Tabelle 17.

| Kölbchen Nr. | absolute Wassermenge | Wassermenge in 1000 Liter |
|---|---|---|
| 1. | + 0.29478 | + 4.3213 |
| 2. | — 0.00175 | — 0.0257 |
| 3. | — 0.00025 | — 0.0037 |
| 4. | + 0.00006 | + 0.0009 |
| 5. | + 0.00008 | + 0.0012 |
| 6. | + 0.00128 | + 0.0188 |

Es wird also der weitaus grösste Theil des Wassers im ersten Kölbchen absorbirt; aber in den fünf folgenden Kölbchen ergab sich in den beiden ersten eine Abnahme, in den 3 späteren eine Zunahme bis

zu 2 Mgr., was bei der völligen Dichtigkeit der Apparate nur aus Fehlern in letzteren selbst zu erklären ist; namentlich wies die Gewichtsabnahme des zweiten und dritten Apparates darauf hin. Dabei erinnerten wir uns auch, dass bei den früheren Respirationsversuchen manchmal eine geringe Gewichtsabnahme im zweiten Kölbchen beobachtet worden war, dass sie aber damals als in den Wiegungsfehlern liegend angesehen wurde.

Schliesslich machten wir nochmals einen ähnlichen Versuch. Es wurden mit einer Pumpe 5 Wasserkölbchen und nach diesen 6 Schwefelsäurekölbchen in einer einzigen langen Kette verbunden. Aus den 5 ersteren nahm die schon Wasser enthaltende Luft noch Wasser auf, und gab dann ihr gesammtes Wasser in den 6 lezteren wieder ab. Man konnte so den Gang der Wasserabsorption erkennen; leider aber ist es unmöglich, sich zu überzeugen, ob auch alles Wasser wieder erhalten wurde, da der Wassergehalt der in die Wasserkölbchen eintretenden atmosphärischen Luft unbekannt ist. Es ergab sich nun beim Durchsaugen von 64.52 Liter Luft in 4 Stunden 40 Minuten (am 16. Dezember 1873):

Tabelle 18.

| Nr. des Kölbchens | Wasserkölbchen | Schwefelsäurekölbchen |
|---|---|---|
| 1. | — 0.36573 | + 0.56283 |
| 2. | — 0.01009 | + 0.14306 |
| 3. | + 0.00290 | + 0.00144 |
| 4. | — 0.00601 | + 0.00137 |
| 5. | — 0.00514 | + 0.00008 |
| 6. | — | + 0.00225 |

Hier fand in allen Schwefelsäurekölbchen eine Zunahme statt, und zwar wie vorher im sechsten eine etwas grössere als in den drei vorhergehenden, wo sie kaum mehr bemerkbar war. Es sind also gewisse Unregelmässigkeiten in der Wasserabsorption vorhanden, deren Ursachen in den Kölbchen liegen müssen. Diese stellten sich auch bei der Abgabe von Wasser in den Wasserkölbchen heraus, welche eine allmählige Abnahme erlitten, bis auf das dritte Kölbchen, in welchem eine Zunahme von nahezu 3 Mgrm. eintrat.

Diese Zunahme ist leicht erklärlich, da bei Schwankungen in der Temperatur leicht eine Condensation von Wasser aus der damit gesättigten Luft stattfinden konnte.

Dies Alles bestimmte uns nun, unsere ganze Aufmerksamkeit auf die Schwefelsäurekölbchen zu richten. Es waren dies, wie schon angegeben, etwa 120 Cc. fassende dünnwandige Glaskölbchen, welche mit kleinen Bimssteinstückchen, die mit concentrirter Schwefelsäure getränkt waren, angefüllt wurden; in dem Halse der Kölbchen befand sich ein doppelt tubulirter Kork, der zum völligen Verschlusse ringsum mit einer Lage von Siegellack sorgfältig umgeben war. An manchen dieser Kölbchen bemerkten wir nun nach längerem Gebrauche kleine schwarze Flecken an der dem Innern zugewendeten Korkfläche, welche nur von hinaufgespritzten Schwefelsäuretröpfchen herrühren konnten; ferners befanden sich auf den Bimssteinstückchen hie und da kleine Splitter des Siegellacks, welche beim Oeffnen der Kölbchen zum Umwechseln der Schwefelsäure sich abgelöst hatten. Es musste in diesen Fällen durch die organische Substanz eine Zersetzung der Schwefelsäure in schweflige Säure stattfinden und ein Gewichtsverlust eintreten. Endlich war leicht ein Abspringen von Siegellackstückchen beim Reinigen der Kölbchen vor dem Wiegen oder beim Einsetzen in den Apparat möglich.

Wir ersetzten daher die Kölbchen mit Korkstopfen durch solche mit einem sorgfältig eingeschliffenen Glasstopfen, mit dem das Abgangsrohr verbunden ist; das Zugangsrohr reicht bis an den Boden des Gefässes und ist in dessen Wandungen eingeschmolzen. Sie werden durch den Hals mit kleinen Bimssteinstückchen gefüllt, welche geglüht und noch heiss in die reine concentrirte Schwefelsäure geworfen worden waren. Die Kölbchen hatten gefüllt ein Gewicht von etwa 70 Grm., sie nahmen das Wasser aus einem Luftstrom ganz vortrefflich auf, so dass ein zweites Kölbchen nur eingeschaltet wird, um sich von der vollkommenen Absorption zu überzeugen, und sie hatten, wenigstens gleich nach der Füllung, die Uebelstände der früheren Kölbchen nicht.

Wir hatten nun die Genugthuung, dass bei Anwendung der neuen Kölbchen, beim genauen Wiegen derselben, beim Ansetzen der Kölbchen an das Anfangsstück der Hauptröhre, beim sorgfältigen

Aichen der neuen Gasuhren etc. die beiden Proben unter einander besser als früher übereinstimmten. Wir erhielten nämlich:

Tabelle 19.

| Nr. | Datum | Differenz im Wasser in 1000 Liter Luft in Milligr. | |
|---|---|---|---|
| | | eintretend | austretend |
| 1. | 2. Jan. 1874 | 3.8 | 2.9 |
| 2. | 5. Jan. 1874 | 24.9 | 14.4 |
| 3. | 9. Jan. 1874 | 29.3 | 10.8 |
| 4. | 11. Jan. 1874 | 6.2 | 40.0 |
| 5. | 26. Jan. 1874 | 6.4 | 20.4 |
| 6. | 29. Jan. 1874 | 0.4 | 11.9 |
| 7. | 2. Febr. 1874 | 18.3 | 13.9 |
| 8. | 26. Febr. 1874 | 36.4 | 8.3 |
| 9. | 3. März 1874 | 1.2 | 82.2 |
| 10. | 2. April 1874 | 8.8 | 76.4 |
| 11. | 8. April 1874 | 7.7 | 11.6 |
| 12. | 13. April 1874 | 48.3 | 11.6 |
| 13. | 16. April 1874 | 33.8 | 3.6 |
| — | Mittel | 17.2 | 24.5 |

Die mittlere Abweichung beträgt also jetzt 17.2 und 24.5 Mgrm., während sie früher 40.9 und 37.4 Mgr. ausmachte; die Differenzen sind demnach kaum grösser als die bei der Kohlensäure.

Die Uebereinstimmung wäre noch ungleich grösser, wenn nicht an einzelnen Tagen auffallend hohe Zahlen vorkämen; aber auch für diese sind wir im Stande eine Erklärung zu geben.

Wir glaubten nämlich ein Kölbchen so lange unbedenklich benützen zu dürfen, als das darnach eingeschaltete nicht um mehr als einige Milligramm an Gewicht zunahm. Es zeigte sich aber, dass immer dann grössere Abweichungen auftraten, wenn ein Kölbchen längere Zeit benützt worden war. Die Schwefelsäure war dabei etwas gefärbt, wahrscheinlich von den in dem Staube hineingerissenen organischen Stoffen, die zu der Bildung von schwefliger Säure und dadurch zu Ungenauigkeiten Veranlassung geben. Dann scheint auch aus der schon verdünnten Schwefelsäure an den rasch vorbeigehenden trockenen Luftstrom Wasser abgegeben zu

werden, wie es Fresenius[1]) für das neutrale Chlorcalcium darthat, welchem ebenfalls durch mittelst Schwefelsäure getrocknete Luft Wasser entzogen wird. Die Gewichtsabnahme des zweiten und dritten Schwefelsäurekölbchens im Versuche der Tab. Nr. 17 S. 155 lässt sich nur auf diese Weise erklären. Man müsste daher eigentlich zu jedem Versuche die Kölbchen mit frischer Schwefelsäure beschicken, und wir haben die feste Ueberzeugung gewonnen, dass dann die Absorption des Wassers eine vollständige ist und die Doppelbestimmungen ebenso genau übereinstimmen wie die der Kohlensäure, aber wir unterzogen uns zunächst nicht der grossen Mühe, da das Deficit an Wasser immer noch vorhanden war.

Bei den neueren Versuchen werden alle Bestimmungen des Wassers, wie die der Kohlensäure doppelt ausgeführt und dürfen die zusammengehörigen Werthe auf 1000 Liter Luft höchstens eine Differenz von 24 Mgrm. zeigen.

Den grössten Werth legen wir auch auf die von Pettenkofer eingeführte Prüfung der Dichtigkeit der ganzen complicirten Röhrenleitung, welche bei keinem anderen Apparate der Art vorgenommen worden ist, und welche uns vielfach vor falschen Resultaten bewahrt hat. Beim Erheben des Cylinders der Quecksilber-Pumpe wird Luft aus dem Hauptrohre in den Cylinder eingesaugt; wenn man nun die Zuleitungsröhre nahe dem Hauptrohr absperrt, so wird das Quecksilber in den Cylinder gehoben, sobald die Leitung vom Hauptrohr an bis zur Pumpe dicht ist, und bleibt während längerer Zeit unverrückt auf seinem Stande. Ist die Leitung dagegen nicht dicht, so sinkt die Quecksilbersäule allmählich herab; es ist nun durch Abkneipen an den verschiedenen Stellen der Leitung leicht, den undichten Punkt zu finden und daran so weit zu verbessern, bis das Quecksilber dauernd gehoben wird. Beim Niedergehen des Cylinders wird die vorher eingesaugte Luft durch die Barytwasserröhren und die Gasuhr herausgepresst; drückt man aber das Kautschukrohr dicht an der Gasuhr ab, so kann die Luft nicht entweichen und der Cylinder bleibt nach der Ausgleichung des Druckes dauernd gehoben; bei irgend einer Undichtigkeit in

1) Fresenius, Zeitschrift f. analyt. Chemie, 1865. Bd 4. S. 177.

diesem Theile der Leitung sinkt der Cylinder nach und nach herab, und ist es auch hier leicht möglich, die undichte Stelle durch Abkneipen der Kautschukverbindungen an verschiedenen Orten aufzufinden und den Fehler zu heben.

Zuerst sollte durch einen Versuch am kleinen Respirationsapparate dargethan werden, dass bei der Anwendung der neuen Kölbchen verdampftes Wasser genau wieder erhalten werden kann. Wir verbanden desshalb mit einer Pumpe zwei ungewogene Schwefelsäurekölbchen, um die eingesogene Luft zu trocknen, welche dann aus 4 folgenden Wasserkölbchen eine bestimmte Menge von Wasser aufnehmen und dieses Wasser endlich in 4 Schwefelsäurekölbchen wieder abgeben sollte.

Wir erhielten beim Durchleiten von 65.65 Liter Luft in 5 Stunden (am 27. Dez. 1873):

Tabelle 20.

| Nr. des Kölbchens | Wasserkölbchen | Schwefelsäurekölbchen |
|---|---|---|
| 1. | — 0.70940 | + 0.72189 |
| 2. | — 0.01936 | + 0.00361 |
| 3. | + 0.00470 | — 0.00176 |
| 4. | — 0.00399 | + 0.00247 |
| — | — 0.72805 | + 0.72621 |

Von 0.72805 Grm. verdampften Wassers wurden also 0.72621 Grm. wieder gefunden. Da wir als drittes Schwefelsäurekölbchen ein solches genommen hatten, welches schon öfter zu Absorptionen diente, so wiederholten wir den gleichen Versuch mit ganz frisch gefüllten Kölbchen, um die Gleichmässigkeit der Absorption unter solchen Verhältnissen darzuthun. Es ergab sich bei einem sechsstündigen Versuche (am 29. Oktober 1874) Folgendes:

Tabelle 21.

| Nr. des Kölbchens | Wasserkölbchen | Schwefelsäurekölbchen |
|---|---|---|
| 1. | — 1.04934 | + 1.06155 |
| 2. | — 0.03055 | + 0.00035 |
| 3. | — 0.01171 | + 0.00014 |
| 4. | — 0.00391 | + 0.00022 |
| — | — 1.09551 | + 1.06226 |

Diese Reihe zeigt zwar, dass die frisch gefüllten Schwefelsäureapparate ganz regelmässig arbeiten, aber es wurden in ihnen 0.03325 Grm. Wasser weniger erhalten, als in den Wasserapparaten verdampft war. Es fand sich auch bald der Grund dafür; es zeigte sich nämlich an den Glasröhren der letzteren ein Beschlag von Wasser, der bei der Abkühlung des Zimmers entstanden war, und der auch in den 3—4 Zoll langen, die Wasserkölbchen verbindenden Kautschukschläuchen stattgefunden hatte.

Es wurde daher der Versuch nochmals gemacht, mit der Vorsicht, die Apparate dicht aneinander zu stossen, wobei sich folgendes Resultat herausstellte (31. October 1874):

Tabelle 22.

| Nro. des Kölbchens | Wasser-kölbchen | Schwefelsäure-kölbchen |
|---|---|---|
| 1 | — 1.09813 | + 1.17252 |
| 2 | — 0.06023 | + 0.00037 |
| 3 | — 0.01431 | — 0.00007 |
| 4 | — 0.00653 | + 0.00019 |
| — | — 1.17920 | + 1.17301 |

Hier stimmten also die beiden Wassermengen auf 6.19 Mgrm. überein. Die Abnahme im 3. Schwefelsäurekölbchen fiel in die Fehlergrenzen.

Es muss nur noch bemerkt werden, dass bei allen unseren Versuchen der Art das letzte Schwefelsäurekölbchen eine grössere Zunahme zeigte, als die vorhergehenden. Dies hat schon Regnault bei seinen Versuchen bemerkt; er hat es der durch Diffusion stattfindenden Aufnahme von Wasser aus den nachfolgenden Theilen der Vorrichtung zugeschrieben, und desshalb die Angaben des letzten Absorptionsapparates nicht berücksichtigt.

Ehe wir unsere Irrfahrten weiter berichten, erwähnen wir noch beiläufig eines nicht uninteressanten, vielleicht einer weiteren Ausbildung fähigen Versuches der Wasserbestimmung, welcher darauf gegründet ist, wie viel Wasser eine Luft aus einem Wasser ent-

haltenden Kölbchen aufzunehmen fähig ist. Die äussere Luft wird als die trocknere mehr Wasser dem Wasserkölbchen entziehen, die innere wasserreichere weniger, und zwar ganz nach Maassgabe ihres Wassergehaltes. Die Differenz der beiden Posten giebt geradezu die Differenz des Wassergehaltes der inneren und äusseren Luft an. Bei gleichzeitigem Brennen von zwei Kerzen, bei welchen wir sonst, wie gleich nachher berichtet werden wird, im Mittel ein Deficit von etwa 26 Grm. Wasser erhielten, fand sich am 4. Dezember 1873:

Tabelle 23.

| Abnahme der Kölbchen bei 1000 Liter Luft | | Wasser berechnet | Wasser gefunden | Differenz | |
|---|---|---|---|---|---|
| äussere | innere | | | absolut | in % |
| 2.4616<br>2.6850 | 2.0289<br>1.8975 | 107.4 | 69.3 | — 38.1 | — 35.5 |

Diese Art der Bestimmung des Wassers ist also nicht wesentlich ungenauer als die durch Absorption des Wassers in Schwefelsäure, und lässt sich sicher noch vervollkommnen.

Wir gingen nach Herstellung der neuen Schwefelsäurekölbchen mit neuen Hoffnungen an die Versuche mit den Kerzen im grossen Apparate, und wir waren überzeugt, dass wir jetzt eine dem Wasserstoffgehalte derselben entsprechende Menge von Wasser erhalten würden. Es wurden bei diesen Versuchen, um eine grössere Menge von Wasser zur Absorption zu bekommen und das Resultat entscheidender zu machen, zwei bis vier Kerzen in der Kammer verbrannt. Aber wir sollten abermals in unseren Erwartungen enttäuscht werden; denn obwohl von jetzt an die einzelnen Proben gut unter einander übereinstimmten, so hatten wir doch in der Wasserbestimmung den gleich grossen prozentigen Fehler wie vorher. Wir fanden:

Tabelle 24.

| Datum 1874 | Verbranntes Stearin in 5 Stunden | Dauer des Versuchs | Wasser | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | in 1000 Liter | berechnet | gefunden | Differenz absolut | Differenz in % |
| 1) 2. Jan. | 119.5 | 6 St. 3 M. | 6.9772, 6.9734 } A.<br>7.7816, 7.7845 } J. | 134.8 | 110.4 | — 24.4 | — 18.1 |
| 2) 5. „ | 130.0 | 7 „ 20 „ | 6.2457, 6.2706 } A.<br>7.0750, 7.0904 } J | 146.6 | 118.5 | — 28.1 | — 19.2 |
| 3) 9. „ | 240.8 | 6 „ 7 „ | 6.8577, 6.8281 } A.<br>8.3580, 8.3472 } J. | 271.7 | 206.2 | — 65.5 | — 24.1 |
| 4) 11. „ | 254.3 | 13 „ — „ | 6.3396, 6.3334 } A.<br>7.0352, 7.0752 } J. | 286.8 | 214.5 | — 72.3 | — 25.2 |

Ein neues, Licht bringendes Resultat ergab sich aber dabei, nämlich das, dass immer zu wenig Wasser erhalten wurde und dass das absolute Deficit an Wasser proportional war der Menge des verbrannten Stearins, was durch die späteren Versuche noch weiter bekräftiget werden wird. Beim Brennen von 1 Kerze hatten wir in den vorausgehenden 5 Versuchen vom 16. October, 21. October, 4. November, 10. November und 14. November 1873, welche mit allen Vorsichtsmaassregeln angestellt worden waren, ebenfalls stets zu wenig Wasser bekommen und zwar um etwa 11 Grm. im Mittel; beim Brennen von 2 Kerzen (im Versuch 1 und 2) fehlten etwa 26 Grm. und bei 4 Kerzen, gleichgiltig ob dieselben zugleich während 6 Stunden brannten (wie im Versuch 3) oder zu je zwei nach einander in 13 Stunden (wie im Versuch 4), erreichte der Ausfall an Wasser eine Grösse bis zu 65—72 Grm. Diese Grösse ist gleichmässig und so bedeutend, dass es sich dabei unmöglich um einen Fehler im

Versuchsverfahren handeln kann; würden sich z. B. 72 Grm. Wasser an den Wandungen des Kastens niederschlagen, so müsste man irgend etwas davon bemerken, während sich dabei, wie schon einmal erwähnt wurde, durch Abwischen der Wände mit Filtrirpapier auch nicht eine Spur gewinnen liess.

Dies merkwürdige Verhalten wies nun aufs Deutlichste darauf hin, dass der sò lange gesuchte Fehler nur in den Kerzen liegen konnte. Wir wurden stets wieder davon abgelenkt, den Fehler in dieser Richtung zu suchen, da nach den vielen Controlversuchen mit 1 Kerze die Kohlensäurebestimmung so genau ausfiel, und wir daraus unbedenklich folgerten, dass dann auch so viel Wasser erzeugt werden müsse, als unsere Rechnung ergab.

Der Fehler konnte jetzt noch auf zwei Arten entstehen.

Einmal dadurch, dass uns wohl der Gehalt der Stearinkerze (besser der Stearinsäurekerze) an Kohlenstoff, aber nicht der an Wasserstoff genau bekannt ist. Da die Kerzen nicht aus der gleichen Masse gegossen waren, so konnten wohl gewisse Verschiedenheiten in der Zusammensetzung der verschiedenen Kerzen vorkommen.

Die benützten Stearinkerzen waren stets aus der gleichen Fabrik bezogen und von der nämlichen Sorte und enthielten anfänglich im Mittel 76.6 % Kohlenstoff und 12.63 % Wasserstoff[1]). Die für die Versuche im Jahre 1862[2]) gebrauchten Kerzen gaben 76.0 % Kohlenstoff und 13.26 % Wasserstoff. Henneberg machte von dem gleichen Materiale 4 Bestimmungen und erhielt:

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 1) | 75.67 % | Kohlenstoff | und | 12.68 % | Wasserstoff |
| 2) | 75.62 | „ | „ | 12.53 | „ |
| 3) | 75.45 | „ | „ | 12.52 | „ |
| 4) | 75.28 | „ | „ | 12.52 | „ |
| im Mittel: | 75.50 % | Kohlenstoff | und | 12.56 % | Wasserstoff. |

Die reine Stearinsäure enthält 76.06 % Kohlenstoff und 12.68 % Wasserstoff.

---

1) Pettenkofer, Annal. d. Chem. u. Pharm. 1862 II. Suppl.-Bd. S. 41 u. S. 51.

2) Pettenkofer, Sitz.-Ber. d. k. b. Acad. d. Wiss.; math. phys. Classe, 14. Febr. 1863, S. 153.

Mit Einrechnung des Dochtes ergaben sich für 100 Grm. Kerze 75.38 Grm. Kohlenstoff und 12.53 Grm. Wasserstoff. Diese Werthe liegen unseren Controlbestimmungen seit dem 3. August 1863 zu Grunde. Bei späteren Analysen fand Henneberg[1]) 75.71 % Kohlenstoff und 12.70 % Wasserstoff.

Wenn nun in einem Fehler der Wasserstoffbestimmung die Abweichung zu suchen wäre, so müsste, da wir beim Brennen von 4 Kerzen auf 100 Grm. Stearin etwa 25 Grm. Wasser zu wenig erhielten, der Wasserstoffgehalt der Stearinkerze statt 12.53 % nur 9.75 % betragen. Ein so grosser Fehler kann aber weder bei der Elementaranalyse gemacht werden, noch kann die Kerze eine solche Abweichung in der Zusammensetzung zeigen, denn selbst reines Stearin enthält bei 76.34 % Kohlenstoff 9.37 % Wasserstoff.

Es blieb daher nur noch eine einzige Möglichkeit für das Entstehen von Fehlern übrig, nämlich eine unvollständige Verbrennung der Stearinsäure der Kerze, und zwar musste es sich dabei vorzüglich um ein an Wasserstoff reiches Gas oder selbst um Wasserstoff handeln, da die Kohlensäure um so viel genauer erhalten wird als das Wasser.

Wir hätten daher die untersuchte Luftprobe vor der Absorption des Wassers und der Kohlensäure durch eine Röhre mit glühendem Kupferoxyd oder Platinschwamm leiten können, um dadurch die unvollständigen Verbrennungsprodukte vollständig zu Wasser und Kohlensäure zu verbrennen. Da dies aber ein schwieriger und complicirter Versuch ist, so beschlossen wir, um alle weiteren Einwände abzuschneiden und gleich völlige Klarheit zu bekommen, vorläufig die Kerzen wegzulassen, und in der Kammer eine gewisse Menge von Wasser zu verdunsten und zu sehen, wieviel davon wieder erhalten werden konnte.

Zuerst liessen wir uns zu dem Zwecke einen geschlossenen Kessel verfertigen, in welchem ein Schlangenbrenner sich befand,

---

1) Henneberg, neue Beiträge zur Begründung einer rationellen Fütterung der Wiederkäuer 1870. Heft 1, S. 32 u. 57.

der ein in einer Concavität des Kessels eingelassenes und mit einer gewogenen Menge Wassers gefülltes Wasserbad erwärmte. Um für das dem Brenner zugeleitete Leuchtgas das nöthige Quantum von Luft zu schaffen, befanden sich am Kessel zwei Röhrenstutzen; der eine stand durch ein langes weites Kautschukrohr mit der Luft des äusseren Zimmerraumes in Verbindung; an den anderen war ein weites Glasrohr befestiget, das durch die Wand der Kammer hindurch ebenfalls in das äussere Zimmer gieng und dort rechtwinkelig abgebogen in ein weiteres Rohr einmündete, welches als Kamin diente und durch eine Gasflamme eine genügende Ventilation bewirkte. An der Abbiegungsstelle der Glasröhre war noch ein senkrecht nach unten abgehendes, in einen Kolben einmündendes Seitenrohr angebracht, durch welches das bei der Verbrennung im Kessel erzeugte Wasser ablief.

Zuerst wurde mit dem angezündeten Ofen, ohne dass Wasser darauf stand, ein Versuch gemacht, der also, wenn Alles in Ordnung sich befand, und wenn namentlich der Kessel vollständig luftdicht schloss, für die in die Kammer eintretende und für die aus derselben austretende Luft übereinstimmende Werthe liefern musste. Dies trat nun auch wirklich ein, denn es fanden sich am 10. März 1874 bei einer Ventilation von 208738 Liter in 6 Stunden auf 1000 Liter:

| | | |
|---|---|---|
| in der äusseren Luft | 5.8814 Grm. Wasser | } |
| " " " " | 5.8734 " " | } |
| in der inneren Luft | 5.8879 " " | } |
| " " " " | 5.8205 " " | } |

Wir stellten nun sechs Versuche an, indem wir 94—651 Grm. Wasser auf dem Kessel verdampfen liessen; wir gelangten dabei zu den nachstehenden Resultaten:

Tabelle 25.

| Nro. | Datum | Wasser verdampft | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | in 1000 Liter | berechnet | gefunden | Differenz | |
| | | | | | absolut | in % |
| 1 | 26. Jan. 1874 | 6.6921 } A. 6.6857 } A. 9.6554 } J. 9.6350 } J. | 439.6 | 445.8 | + 6.2 | + 1.4 |
| 2 | 29. Jan. 1874 | 5.8009 } A. 5.7995 } A. 7.1220 } J. 7.1101 } J. | 275.6 | 294.1 | + 18.5 | + 6.7 |
| 3 | 2. Febr. 1874 | 6.3654 } A. 6.3837 } A. 6.7643 } J. 6.7504 } J. | 93.6 | 101.6 | — 8.0 | — 8.5 |
| 4 | 26. Febr. 1874 | 6.1387 } A. 6.1751 } A. 8.1010 } J. 8.0127 } J. | 404.3 | 423.8 | + 19.5 | + 4.8 |
| 5 | 3. März 1874 | 5.8277 } A. 5.8289 } A. 9.1834 } J. 9.1012 } J. | 588.7 | 609.3 | + 20.6 | + 3.5 |
| 6 | 2. April 1874 | 4.9776 } A. 4.9864 } A. 8.1822 } J. 8.1058 } J. | 650.8 | 691.9 | + 41.1 | + 6.3 |

Alle Versuche lieferten demnach annehmbare Resultate; es fiel aber auf, dass sie sämmtlich einen positiven Fehler ergaben, bis auf den dritten, bei welchem nur wenig Wasser verdampfte, weil die Flamme im Kessel bald auslöschte, worauf dann die Ventilation der Kammer bis nach Ablauf von sechs Stunden noch fortgesetzt wurde. Wir bemerkten dann später bei näherer Prüfung des Kessels, dass es schwer ist, bei der hohen Temperatur desselben alle Löthstellen und Dichtungen völlig luftdicht zu erhalten; es schien sehr wahrscheinlich, dass durch kleine Undichtigkeiten etwas von dem in dem Kessel durch die Verbrennung in ausserordentlich grosser Menge erzeugten Wasser in den Raum der Kammer eindrang.

Um dies zu vermeiden, stellten wir den Versuch auf eine andere Weise an. Durch eine Oeffnung in der Wand der Kammer wurde ein mit einem Kolben verbundenes langes Glasrohr bis in die Mitte des Kastens eingesteckt, wo es nach oben abgebogen war; das im Kolben befindliche Wasser wurde in starkem Sieden erhalten. Anfangs strömte der Dampf sichtbar zur Röhre in den Kasten aus; bald aber vertheilte er sich so gleichmässig, dass nichts mehr von ihm wahrzunehmen war. Ein grosser Theil des Wasserdampfes wurde in der langen Glasröhre wieder verdichtet und floss in den Kolben zurück.

Wir machten auf diese Art drei Versuche, welche alle ganz das gleiche Resultat lieferten; wir erhielten nämlich:

Tabelle 26.

| Nro. | Datum. | Wasser verdampft | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | in 1000 Liter | berechnet | gefunden | Differenz | |
| | | | | | absolut | in % |
| 1 | 8. April 1874 | 7.3850 } A.<br>7.3937<br>9.3742 } J.<br>9.3858 | 471.0 | 456.8 | — 14.2 | — 3.0 |
| 2 | 13. April 1874 | 7.4877 } A.<br>7.5360<br>10.4484 } J.<br>10.4368 | 657.9 | 641.2 | — 16.7 | — 2.5 |
| 3 | 16. April 1874 | 9.2602 } A.<br>9.2940<br>11.2285 } J.<br>11.2321 | 459.7 | 443.7 | — 16.0 | — 3.5 |

In allen drei Versuchen wurde etwas (2.5 — 3.5 %) zu wenig Wasser erhalten, was auch nach der ganzen Art des Versuchs am wahrscheinlichsten ist, da von der grossen Menge des verdampften Wassers an den Wandungen des Kastens leicht geringe Mengen zurückbleiben konnten.

Mit diesem Resultate war endlich erreicht, nach was wir so lange gestrebt; wir hatten bis auf 3% im Mittel so viel Wasser

wieder erhalten, als im Kasten entwickelt worden war; die Bestimmung des Wassers mit dem grossen Pettenkofer'schen Respirationsapparate war durch unsere Bemühungen nahezu so genau geworden wie die der Kohlensäure. Der Hauptfehler der früheren Controlversuche mit der Kerze lag also nicht, wie wir immer glaubten, in der Methode der Wasserbestimmung, sondern er musste wirklich darin zu suchen sein, dass die Verbrennung der Stearinsäure eine unvollständige ist, namentlich weil nicht aller Wasserstoff derselben sich mit Sauerstoff verbindet. Es ist dies die günstigste Lösung des Räthsels, die wir hätten wünschen können; der Apparat arbeitet auch in dieser Beziehung vortrefflich und auch die Wasserbestimmungen am Hund und Menschen sind genauer als wir meinten.

Die von Pettenkofer zuerst ausgeführten Controlbestimmungen des Wassers (am 17., 19. und 21. Februar 1862) wurden, da eine brennende Stearinkerze wenig Wasser liefert, mit einer kleinen Weingeistflamme gemacht, welche zugleich zur Verdampfung von Wasser diente. So kam es, dass diese Versuche brauchbare Resultate gaben und die Genauigkeit mit der Menge des verdampften Wassers wuchs. Die Bestimmungen mit Kerzen ergaben dagegen sehr wechselnde Zahlen, da dieselben früher noch mit mancherlei, vorher aufgezählten Fehlern behaftet waren; die Fehler in der Methode konnten sich hie und da mit den durch die unvollständige Verbrennung veranlassten compensiren, dann erhielt man eine leidliche Uebereinstimmung zwischen Versuch und Rechnung; sie konnten aber auch im gleichen Sinne ausfallen und so die Differenz sehr vergrössern. Das Brennen der Kerze scheint auch je nach zufälligen Umständen, z. B. der Beschaffenheit des Dochtes, verschieden zu sein; sie schienen uns manchmal mit auffallend rothem Lichte zu brennen, namentlich wenn vier Kerzen in der Kammer sich befanden, wobei der Kohlensäuregehalt bis auf 7.3 Grm. in 1000 Liter Luft anstieg; hie und da flackerten die Flammen auch, was ebenfalls eine unvollständige Verbrennung herbeiführen konnte.

Daraus erklärt sich auch das auffallende Resultat einiger von Pettenkofer und C. Voit früher zu einem andern Zwecke angestellter Versuche, bei welchen kleine Weingeistflammen in der Kammer brannten; es wurde dabei erhalten:

Tabelle 27.

| Nr. | Datum 1871 | Kohlensäure in 1000 Liter | Kohlensäure berechnet | Kohlensäure gefunden | Kohlensäure Differenz absolut | Kohlensäure Differenz in % | Wasser in 1000 Liter | Wasser berechnet | Wasser gefunden | Wasser Differenz absolut | Wasser Differenz in % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1. | 23. Oct. | 2.3011, 2.2783 A.<br>2.5594, 2.5696 J. | 99.9 | 83.1 | — 16.8 | — 16.8 | 8.5911, 8.6065 A.<br>8.7910, 8.8005 J. | 66.2 | 60.6 | — 5.6 | — 8.5 |
| 2. | 25. Oct. | 1.1613, 1.1381 A.<br>1.4718, 1.4655 J. | 110.1 | 102.1 | — 8.0 | — 7.3 | 7.4748 A.<br>7.7416, 7.7399 J. | 73.0 | 84.9 | + 11.9 | + 16.3 |
| 3. | 14. Nov. | 1.7470, 1.7288 A.<br>2.0807, 2.0905 J. | 120.0 | 110.6 | — 9.4 | — 8.5 | 6.5737, 6.5494 A.<br>6.8562, 6.8597 J. | 79.3 | 93.4 | + 14.1 | + 17.7 |

Es hat sich hier offenbar etwas Alkohol unzersetzt verflüchtiget, wesshalb durchgängig zu wenig Kohlensäure erschien und in zwei Versuchen zu viel Wasser, da der verdampfende Alkohol das Gewicht der vorgelegten concentrirten Schwefelsäure vermehrte.

Um die unvollständige Verbrennung der Kerzen direkt darzuthun, richteten wir schliesslich die Versuche so ein, dass je eine Probe der eintretenden und austretenden Luft über glühendes Kupferoxyd geleitet wurde. Früher waren zur Bestimmung des vom Thiere abgegebenen Wasserstoffs oder Grubengases Proben der Luft in mit Platinschwamm gefüllten, 18 Cm. langen Verbrennungsröhren geglüht worden; wir wählten diesmal gekörntes Kupferoxyd zur Füllung und brachten die anfangs etwa 50 Cm. langen Verbrennungsröhren in einen Erlenmeyer'schen Verbrennungsofen, worin sie schon längere Zeit vor Beginn des Versuchs in starkes Glühen versetzt wurden. Ein Versuch der Art ist äusserst mühsam, da die grösste Aufmerksamkeit und Geduld dazu gehört, die langen viel verzweigten Röhrenleitungen völlig dicht zu erhalten.

Wir stellten fünf solcher Versuche, jeden von 6 Stunden Dauer an und zwar mit dem folgenden Ergebnisse:

# Tabelle 28.

Die mit * bezeichneten Zahlen sind die Resultate geglühter Proben.

| Nr. | Datum | verbranntes Stearin in 6 Stdn. | Kohlensäure in 1000 Liter | | Kohlensäure berechnet | Kohlensäure gefunden | Kohlensäure Differenz absolut | Kohlensäure Differenz in % | Wasser in 1000 Liter | | Wasser berechnet | Wasser gefunden | Wasser Differenz absolut | Wasser Differenz in % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 5. Febr. 1874 | 120.4 | 0.8513* | A. | | | | | 6.3661* | A. | | | | |
| | | | 0.8042 | | 332.7 | 324.7* | − 8.0* | − 2.4* | 6.1433 | | 135.8 | 137.7* | + 1.5* | + 1.3* |
| | | | 2.3162* | J. | | 333.2 | + 0.5 | + 0.2 | 6.9827* | J. | | 142.9 | + 7.1 | + 5.2 |
| | | | 2.3076 | | | | | | 6.7884 | | | | | |
| 2 | 9. Febr. 1874 | 129.2 | 0.6426* | A. | | | | | 4.4829* | A. | | | | |
| | | | 0.6271 | | 357.1 | 358.5* | + 1.4* | + 0.4* | 4.4511 | | 145.7 | 132.2* | − 13.5* | − 9.2* |
| | | | 2.5387* | J. | | 360.2 | + 3.1 | + 0.9 | 5.4191* | J. | | 128.2 | − 17.5 | − 12.0 |
| | | | 2.5507 | | | | | | 5.3589 | | | | | |
| 3 | 12. Febr. 1874 | 240.8 | 1.2393* | A. | | | | | 5.7524* | A. | | | | |
| | | | 1.1813 | | 665.7 | 637.4* | − 28.3* | − 4.2* | 5.7116 | | 271.7 | 240 2* | − 30.5* | − 11.2* |
| | | | 5.8440* | J. | | 631.8 | − 33.9 | − 5.1 | 7.4874* | J. | | 228.8 | − 42.9 | − 15.8 |
| | | | 5.7453 | | | | | | 7.3647 | | | | | |
| 4 | 21. Febr. 1874 | 234.1 | 2.7687* | A. | | | | | 7.5737* | A. | | | | |
| | | | 2.7051 | | 647.0 | 609.9* | − 37.1* | − 5.7* | 7.4680 | | 264.0 | 199.6* | − 64.5* | − 24.4* |
| | | | 7.3871* | J. | | 598.2 | − 48.8 | − 7.5 | 9.0691* | J. | | 193.7 | − 70.4 | − 26.6 |
| | | | 7.1863 | | | | | | 8.9188 | | | | | |
| 5 | 6. März 1874 | 236.3 | 3.2234* | A. | | | | | 7.4477* | A. | | | | |
| | | | 3.1676 | | 653.2 | 656.7* | + 3.5* | + 0.5* | 7.4200 | | 266.6 | 222.6* | − 44.0* | − 16.5 |
| | | | 6.1123* | J. | | 630.0 | − 23.2 | − 3.5 | 8.4272* | J. | | 189.4 | − 77.2 | − 28.9 |
| | | | 5.9394 | | | | | | 8.2530 | | | | | |

Auch diese 5 Versuche hatten das gleiche Ergebniss wie die 4 vorausgehenden Versuche S. 163, nämlich dass das absolute Deficit im Wasser mit der Menge des verbrannten Stearins zunahm. Durch das Glühen der Luft wurde dasselbe wohl durchgängig geringer, jedoch nicht aufgehoben. Zugleich fällt auch bei dem Brennen von vier Kerzen (in den drei letzten Versuchen) die Kohlenstoffbestimmung viel ungenauer aus als bei dem Brennen von einer oder zwei Kerzen, da sich dabei in der ungeglühten Probe ein Deficit von 3.5 — 7.5 % zeigt, das beim Glühen sich ebenfalls etwas verringert. Dies weist abermals darauf hin, dass beim gleichzeitigen Brennen von vier Kerzen die Ventilation der Kammer eine ungenügende war und desshalb neben Wasserstoff auch Kohlenstoff haltige unvollständige Verbrennungsprodukte auftreten.

Da wir das Deficit an Wasser durch Glühen der Luft nicht gänzlich zu beseitigen vermochten, so nahmen wir für fünf fernere Versuche längere Verbrennungsröhren und zwar von einer Länge von 85 Cm. Es mussten daher zum Glühen der Proben der ein- und austretenden Luft zwei Verbrennungsöfen angewendet werden, was die ganze Versuchsanordnung noch viel complicirter machte. Es kam auch der missliche Umstand hinzu, dass die vom Verbrennungsofen abströmenden Gase durch den darüber gesetzten Kamin nicht vollständig abzogen, und der Kohlensäuregehalt der eintretenden Luft bis zu 3.2 pro mille betrug. Es ergab sich bei den fünf sechsstündigen Versuchen, bei welchen 4 Kerzen in der Kammer brannten:

## Tabelle 29.

Die mit * bezeichneten Zahlen sind die Resultate geglühter Proben.

| Nr. | Datum | verbranntes Stearin in 6 Stdn. | Kohlensäure in 1000 Liter | | Kohlensäure berechnet | Kohlensäure gefunden | Kohlensäure Differenz absolut | Kohlensäure Differenz in % | Wasser in 1000 Liter | | Wasser berechnet | Wasser gefunden | Wasser Differenz absolut | Wasser Differenz in % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 17. März 1874 | 239.2 | 2.3969* | A. | | | | | 7.9272* | A. | | | | |
| | | | 2.3434 | | 661.1 | 675.4* | + 14.3* | + 2.2* | 7.7806 | | 269.8 | 241.5* | − 28.3* | − 10.5* |
| | | | 3.0206* | J. | | 651.7 | − 9.4 | − 1.4 | 9.0074* | J. | | 233.5 | − 36.3 | − 13.5 |
| | | | 2.9147 | | | | | | 8.8248 | | | | | |
| 2 | 20. März 1874 | 240.4 | 1.6408* | A. | | | | | 6.9618* | A. | | | | |
| | | | 1.5717 | | 664.6 | 638.4* | − 25.2* | − 3.8* | 6.9058 | | 271.2 | 263.8* | − 7.4* | − 2.7* |
| | | | 4.6838* | J. | | 629.5 | − 35.1 | − 5.3 | 8.2192* | J. | | 239.4 | − 31.8 | − 11.7 |
| | | | 4.5725 | | | | | | 8.0470 | | | | | |
| 3 | 18. April 1874 | 238.9 | 1.7055* | A. | | | | | 8.6330* | A. | | | | |
| | | | 1.7738 | | 660.2 | 665.0* | + 4.8* | + 0.7* | 8.9549 | | 269.4 | — | — | — |
| | | | 5.1345* | J. | | 651.5 | − 8.7 | − 1.3 | 10.2100* | J. | | 209.8 | − 60.1 | − 22.3 |
| | | | 5.1329 | | | | | | 10.0340 | | | | | |
| 4 | 28. April 1874 | 238.0 | 2.4394* | A. | | | | | 8.5636* | A. | | | | |
| | | | 2.2899 | | 657.5 | 632.0* | − 25.5* | − 3.8* | 8.6286 | | 268.3 | 180.2* | − 88.1* | − 32.9* |
| | | | 5.4098* | J. | | 613.2 | − 44.3 | − 6.7 | 9.3358* | J. | | 153.3 | − 115.0 | − 42.9 |
| | | | 5.1716 | | | | | | 9.3491 | | | | | |
| 5 | 8. Mai 1874 | 230.0 | 2.8664* | A. | | | | | 8.0045* | A. | | | | |
| | | | 2.8458 | | 635.7 | 638.4* | + 2.7* | + 0.4* | 8.0007 | | 259.4 | 202.4* | − 57.0* | − 22.0* |
| | | | 3.1648* | J. | | 629.7 | − 6.0 | − 0.9 | 9.0080* | J. | | 210.6 | − 48.8 | − 18.8 |
| | | | 3.1220 | | | | | | 9.0446 | | | | | |

Auch durch diese fünf Versuche steht es fest, dass unvollständige Verbrennungsprodukte vorhanden sind. Es tritt dies besonders beim Brennen von 4 Kerzen hervor, da dabei in allen Fällen ansehnliche Mengen von Wasser abgehen, und wie vorher der Fehler in der Kohlensäure grösser ist als beim Brennen einer Kerze. Durch das Glühen der Luft wird das Deficit in der Kohlensäure und im Wasser stets (mit nur einer Ausnahme) geringer, aber es gelang auch hier nicht, den ganzen Ausfall an Wasserstoff dadurch zu beseitigen.

Hintennach sahen wir wohl ein, dass dies auch kaum zu erwarten ist, und zwar wegen der Schnelligkeit, mit der die Luft durch die glühende Röhre gesaugt wird. Ein Saugcylinder fasst bei jedem Hube etwa 18 Cc. Luft, und diese Menge Luft passirt in etwa 3 Sekunden die Verbrennungsröhre. Wenn auch dadurch Luft in den Saugcylinder aufgenommen wird, welche schon einige Zeit in der Röhre verweilte, so wird doch die in die Röhre eingesaugte Luft durch den folgenden Hub des Saugcylinders wieder daraus entfernt, was höchstens eine Zeit von 9 Sekunden beansprucht. Bei einer Elementaranalyse wenigstens würde man sicherlich bei einer so raschen Entwicklung Produkte der unvollständigen Verbrennung auftreten sehen; zum Entstehen einer Verbindung ist mehr Zeit erforderlich als zur Absorption schon vorhandener Gase. Dies ist namentlich der Fall, da bei unserem Versuche der Wasserstoff oder das Grubengas so sehr mit Luft verdünnt sind; Bunsen[1]) hat bemerkt, dass wenn man ein explosives Gas in einem grösseren Verhältniss mit einem unverbrennlichen mischt, man an eine Grenze gelangt, wo die Entzündlichkeit des ersteren plötzlich aufhört, die erst durch eine weitere Erhöhung der Temperatur wieder erlangt wird. Es ist fraglich, ob die Erhitzung der Luft bei dem schnellen Durchgang durch die Röhre hoch genug ausfällt.

Man müsste daher mit einem gleichmässig arbeitenden Aspirator während des ganzen Versuches wie bei einer Elementaranalyse langsam eine Probe der Luft durch die Verbrennungsröhre ziehen, um eine vollständige Oxydation bis zu Kohlensäure und Wasser

---

1) Bunsen, gasometrische Methoden S. 228.

herbeizuführen. Wir standen aber von der Einrichtung eines solchen Versuches ab, da der Zweck unserer Untersuchung erreicht war, und der Nutzen eines Versuches der Art uns für das im Momente erstrebte Ziel in keinem Verhältniss zu stellen schien zu der Mühe, welche man dabei hätte aufwenden müssen.

Pettenkofer und C. Voit haben schon früher mehrmals bei Controlbestimmungen Proben der Luft über glühenden Platinschwamm oder platinirten Bimsstein geleitet. So fanden sie z. B.[1]) in 1000 Liter der in die Kammer eintretenden Luft:

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1) | geglüht | 0.6789 | Kohlensäure | und | 10.9391 | Wasser |
| | ungeglüht | 0.6776 | " | " | 10.9096 | " |
| 2) | geglüht | 0.6440 | " | " | 10.6609 | " |
| | ungeglüht | 0.6444 | " | " | 10.6207 | " |

Dies macht in der geglühten Luft für 1) bei einer Ventilation von 232336 Liter Luft in 24 Stunden 6.8 Wasser oder 0.75 Wasserstoff mehr als in der nicht geglühten; für 2) bei einer Ventilation von 228516 Liter Luft in 24 Stunden 9.2 Wasser oder 1.02 Wasserstoff mehr als in der nicht geglühten; für die Kohlensäure zeigte sich durch das Glühen kein Unterschied.

Beim Brennen einer Stearinkerze während 8 Stunden und einer Ventilation von 100937 Liter Luft (3. Dez. 1862) ergab sich ferner[2]):

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | in der einströmenden Luft: | | | | |
| geglüht | 0.9097 | Kohlensäure | und | 6.0452 | Wasser. |
| ungeglüht | 0.9286 | " | " | 6.0675 | " |
| | in der abströmenden Luft: | | | | |
| geglüht | 3.5108 | Kohlensäure | und | 7.4899 | Wasser. |
| ungeglüht | 3.4967 | " | " | 7.4017 | " |

Daraus berechnet sich für 1000 Liter Luft beim Glühen ein Plus von 0.0330 Kohlensäure und von 0.1105 Wasser, was für 100937 Liter 3.3 Grm. Kohlensäure und 11.1 Grm. Wasser ausmacht. Hier ist nun allerdings durch das Glühen so viel Wasser

1) Pettenkofer und Voit, Sitz. Ber. d. b. Akad. d. Wissensch. 1862. Bd. II. S. 162; u. Annal. d. Chem. u. Pharm. S. 247.

2) Pettenkofer, Sitz. Ber. d. b. Akad. d. Wissensch. 1863, Bd. I. S. 154.

gewonnen worden, als beim Brennen einer Kerze in unseren späteren Versuchen abging und man könnte vielleicht denken, dass das Leiten der Luft über glühenden Platinschwamm die Dienste leistete, welche das Kupferoxyd versagte; da aber nur ein einziger Versuch der Art vorliegt und von einer Zeit, wo die Verbesserungen in der Wasserbestimmung noch nicht eingeführt worden waren, so sind wir vorläufig eher geneigt, obiges Resultat als ein zufälliges anzusehen.

Es bestärken uns in dieser Anschauung die von Henneberg ausgeführten Glühversuche, bei welchen er die Luft ein Verbrennungsrohr passiren liess, welches theilweise mit platinirtem Bimstein, theilweise mit gekörntem Kupferoxyd gefüllt ist. Henneberg[1]) theilt die Resultate zweier solcher Versuche mit, die wir hier zur Uebersicht beifügen:

Tabelle 30.

| Nr. | Datum 1868 | Kohlensäure | | | | | Wasser | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Diff. d. inn. u. äuss. Luft in 1000 Liter | | berechnet | gefunden | | Diff. d. inn. u. äuss. Luft in 1000 Liter | | berechnet | gefunden | |
| | | ungeglüht | geglüht | | ungeglüht | geglüht | ungeglüht | geglüht | | ungeglüht | geglüht |
| 3 | 10. Jan. | 1.369 | 1.386 | 817.5 | 797.1 | 806.8 | 2.288 | 2.247 | 1422.9 | 1322.0 | 1308.1 |
| 4 | 14. Jan. | 1.892 | 1.890 | 1234.0 | 1223.4 | 1222.0 | 1.515 | 1.285 | 1109.6 | 979.5 | 933.8 |

Durch das Glühen der Luft wurde nur einmal etwas mehr Kohlensäure erhalten, dagegen stets weniger Wasser als in der nicht geglühten Probe.

Wir bemerken noch, dass es nach diesen Erfahrungen zweifelhaft erscheint, ob die früher ausgeführten Bestimmungen des von einem Thierkörper ausgeschiedenen Wasserstoffs und Grubengases, wobei die Luft über glühenden platinirten Bimstein geleitet wurde, völlige Genauigkeit beanspruchen können. Die Zahlen für die Abgabe von Wasserstoff oder Grubengas sind also möglicher Weise höher als damals berichtet worden ist, keinesfalls niedriger.

1) Henneberg, neue Beiträge zur Begründung einer rationellen Fütterung der Wiederkäuer 1870. Heft 1. S. 50 u. 66.

Nach unseren Versuchen erklären sich nun auch die für die Wasserbestimmung so ausserordentlich ungünstigen Resultate, welche Henneberg erhalten hat.

Henneberg's Bestimmungen der Kohlensäure stimmen wie die von Pettenkofer mit der aus dem Kohlenstoff der Stearinkerze berechneten Kohlensäuremenge gut überein. Dies tritt ein, obwohl er 3—4 Kerzen zu gleicher Zeit brennt, da bei ihm wegen der viel grösseren Ventilation der Kohlensäuregehalt der inneren Luft niemals 2.8 pro mille überstieg, während bei uns in diesem Falle die Kohlensäure bis auf 7.3 pro mille anwuchs und dadurch die Verbrennung des Kohlenstoffs eine unvollständige wurde.

Auf 1000 Liter Luft hatte Henneberg bei den Doppelbestimmungen für die innere Luft im Mittel eine Differenz von 16 m. gr. (0—41 m. gr.), für die äussere Luft von 11 m. gr. (1—32 m. gr.), für beide im Mittel von 14 m. gr.; bei den Versuchen von Pettenkofer und C. Voit betrug die Differenz 12 m. gr., bei unseren Versuchen 16 m. gr. Nach den unvermeidlichen Fehlern bei der Bestimmung der Kohlensäure dürften sich nach Henneberg's Berechnungen die gefundenen absoluten Werthe derselben bei 10stündiger Versuchsdauer und einer Ventilation des Kastens mit 50 cub. Meter in der Stunde bis zu ± 6 bis 14 Grm. von den richtigen Werthen entfernen. Da nun die Beobachtungsfehler häufig über diese Grenze in Wirklichkeit hinausgehen, so müssen noch andere Fehlerquellen vorhanden sein. Die folgende Zusammenstellung der Differenzen der berechneten und gefundenen Kohlensäuremengen giebt Fingerzeige dafür, wo der Fehler zu suchen ist.

Henneberg fand als Differenz:

| | in Probe 1. | in Probe 2. |
|---|---|---|
| | — 8.2 | + 3.5 |
| | — 16.4 | — 30.3 |
| | — 20.5 | — 10.7 |
| | — 10.6 | — 12.0 |
| | — 0.7 | — 21.2 |
| | — 6.7 | + 11.0 |
| | + 0.9 | + 6.1 |
| | + 8.8 | — 0.3 |
| Mittel: | — 6.7 | — 6.7 |

Es ist auffallend, dass in den meisten Fällen zu wenig Kohlensäure gefunden wird, was wir auf die unvollständige Verbrennung des Kohlenstoffs beziehen, die beim Verbrennen von 3—4 Kerzen absolut mehr zu Tage tritt, als beim Verbrennen nur einer Kerze.

Wesentlich verschieden sind aber die von Henneberg für das Wasser gewonnenen Zahlen von denen Pettenkofer's und auch den unsrigen, indem er einen viel grösseren Fehler fand, als wir in den ungünstigsten Fällen.

Vor Allem ist bei ihm die Differenz in den beiden gleichzeitigen Proben ungleich grösser als bei uns; sie beträgt nämlich auf 1000 Liter Luft in der inneren Probe 39—347 d. i. im Mittel 116 m. gr., in der äusseren Probe 14—175 d. i. im Mittel 77 m. gr., und im Mittel beider Proben 94 m. gr., während Pettenkofer eine mittlere Abweichung von 36 m. gr., und wir anfangs eine solche von 39 m. gr. hatten. Berechnet man daher nach jeder der beiden Proben die im Kasten hinzukommende Wassermenge, so erhält man theilweise ganz ausserordentliche Abweichungen, da bei Henneberg jeder Fehler wegen der grossen Ventilation sehr vergrössert wird. Die beiden Proben gaben für die ganze Luft Differenzen von:

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 93.0 | Grm. | Wasser | = | 26.0 % |
| 116.8 | „ | „ | = | 24.9 „ |
| 13.9 | „ | „ | = | 1.0 „ |
| 45.7 | „ | „ | = | 4.1 „ |
| 11.6 | „ | „ | = | 1.0 „ |
| 87.6 | „ | „ | = | 8.0 „ |
| 61.2 | „ | „ | = | 7.6 „ |
| 63.2 | „ | „ | = | 3.6 „ |
| 282.1 | „ | „ | = | 14.0 „ |

Es ist vor Allem nothwendig, dass Henneberg diese grossen Differenzen, die er wenig beachtet hat, beseitiget; die beiden Proben müssen vorerst besser übereinstimmende Zahlen liefern, ehe man den Fehler in einer Condensation von Wasser an den Wandungen des Kastens und der Röhren sucht, oder in dem schwankenden Wassergehalte der atmosphärischen Luft, wodurch die Fehlerquelle der zeitlichen Entfernung der zur Untersuchung gezogenen Luftproben grösser als bei der Kohlensäure wird. In dieser Beziehung ist alles das zu beachten, was wir über die Methode der Wasserbestimmung ermittelt haben.

Der zweite Grund, warum Henneberg eine so grosse absolute Abweichung im Wasser erhielt, ist unbestreitbar in der unvollständigen Verbrennung der Stearinkerzen zu suchen. Er brannte 3 - 4 Kerzen zu gleicher Zeit, wie wir bei den Versuchen, bei welchen wir ein beträchtliches Deficit an Wasser erhielten, und verdampfte daneben noch eine gewisse Menge von Wasser, wobei sich folgende Unterschiede im berechneten und gefundenen Wasser, in Grm. ausgedrückt, ergaben:

| | in Probe 1. | in Probe 2. |
|---|---|---|
| | — 56.6 | — 149.6 |
| | — 57.3 | — 174.1 |
| | — 100.9 | — 114.8 |
| | — 130.1 | — 175.8 |
| | — 139.8 | — |
| | — 111.8 | — 123.4 |
| | — 121.2 | — 208.8 |
| | — 102.8 | — 164.0 |
| im Mittel: | — 102.6 | — 158.6 |
| | 129.0 | |

Es zeigte sich also in allen Fällen ein Minus an Wasser, wie es auch die unvollständige Verbrennung verlangt, und zwar betrug das Minus im Mittel 129.0 Grm. bei einer Verbrennung von 335.5 Grm. Stearinsäure im Mittel, während das mittlere Deficit der Kohlensäure nur 6.7 Grm. ausmachte. Berechnet man diese Zahlen auf 100 Grm. Stearin, so ergibt sich:

| 335.5 Stearin | | 100 Stearin | |
|---|---|---|---|
| — 6.7 Kohlensäure | = — 1.8 Kohlenstoff | — 2.0 Kohlensäure | = — 0.5 Kohlenstoff |
| — 129.0 Wasser | = — 14.8 Wasserstoff | — 38.4 Wasser | = — 4.8 Wasserstoff |

Wir werden nachher diese Ergebnisse Henneberg's mit den unsrigen in Vergleich setzen.

Man kann versuchen, aus dem bei der Verbrennung der Stearinsäure in der Kohlensäure und dem Wasser erhaltenen Deficit an Kohlenstoff und Wasserstoff die Zusammensetzung der Gase zu ermitteln, welche bei der unvollständigen Verbrennung gebildet werden.

Das Deficit fiel je nach der Zahl der brennenden Kerzen verschieden aus. Es fand sich aus unseren Controlversuchen gegenüber der Berechnung:

Tabelle 31.

| Zahl der Kerzen | verbrannte Stearinsäure | Kohlensäure der Kammerluft in ‰ | Kohlensäure gefunden | | Wasser gefunden | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | nicht geglüht | geglüht | nicht geglüht | geglüht |
| 1 | 61 | 2.02 | + 0.7 [1]) | — | — 11 | — |
| 2 | 125 | 2.42 | + 1.8 | — 3.3 | — 16 | — 5.8 |
| 4 | 239 | 5.02 | — 26.0 | — 11.3 | — 59 | — 35.4 |

Auf 100 Grm. der verbrannten Stearinsäure mit 75.38 Grm. Kohlenstoff (= 276.4 Grm. Kohlensäure) und 12.53 Grm. Wasserstoff (= 112.8 Grm. Wasser) treffen demnach:

Tabelle 32.

| Zahl d. Kerzen | Kohlensäure | | Kohlenstoff | | Wasser | | Wasserstoff | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | nicht geglüht | geglüht | nicht geglüht | geglüht | nicht geglüht | geglüht | nicht geglüht | geglüht |
| 1 | + 1.1 | — | + 0.3 | — | — 18.0 | — | — 2.0 | — |
| 2 | + 1.4 | — 2.6 | + 0.4 | — 0.7 | — 12.8 | — 4.6 | — 1.4 | — 0.5 |
| 4 | — 10.9 | — 4.7 | — 3.0 | — 1.3 | — 24.6 | — 14.8 | — 2.7 | — 1.6 |

Dies macht in Prozent der in 100 Grm. der verbrannten Stearinsäure befindlichen Menge von Kohlenstoff und Wasserstoff aus:

Tabelle 33.

| Zahl der Kerzen | % des Kohlenstoffs | | % des Wasserstoffs | |
|---|---|---|---|---|
| | nicht geglüht | geglüht | nicht geglüht | geglüht |
| 1 | + 0.4 | — | — 16.0 | — |
| 2 | + 0.5 | — 0.9 | — 11.2 | — 4.0 |
| 4 | — 4.0 | — 1.7 | — 21.5 | — 12.8 |

---

1) Die Versuche von Pettenkofer und Voit geben beim Brennen 1 Kerze ein Plus von 0.39 Grm. Kohlensäure.

Das geringe Plus an Kohlenstoff beim Brennen von einer und von zwei Kerzen liegt in den Fehlergrenzen der Bestimmung; dagegen ist das Deficit an Kohlenstoff beim Brennen von vier Kerzen ein nicht unbedeutendes und beträgt 4.0 % des Kohlenstoffs der verbrannten Stearinsäure. Die unvollständige Verbrennung des Kohlenstoffs bei vier Kerzen hängt offenbar zum grössten Theile von der Ansammlung der Kohlensäure in der Kammer ab, deren Luft dabei bis zu 5 pro mille Kohlensäure enthält; so lange die Kohlensäure noch nicht in so grosser Menge vorhanden ist, wird nahezu aller Kohlenstoff bis zu Kohlensäure verbrannt. Da bei den Versuchen von Henneberg die Luft in der Kammer wegen der grossen Ventilation im Durchschnitt nur 2.54 pro mille Kohlensäure enthält, so reihen sie sich in Beziehung des Kohlenstoffs unseren Versuchen mit 2 Kerzen an, bei welchen wir noch kein Deficit daran mit Sicherheit constatiren konnten; Henneberg erhielt im Mittel ein Deficit von 0.5 Grm. Kohlenstoff auf 100 Grm. des verbrannten Stearins = 0.7 % des Kohlenstoffs desselben.

Das Deficit an Wasserstoff ist schon beim Brennen einer Kerze vorhanden und nimmt mit der Menge des verbrannten Stearins zu, der Art, dass auf 100 Grm. Stearin stets nahezu der gleiche Verlust trifft.

Beim Brennen von einer und von zwei Kerzen findet sich noch kein wesentlicher Abgang von Kohlenstoff, welcher erst beim Brennen von vier Kerzen eintritt, also für 100 Grm. verbrannten Stearins nicht gleich gross ist. Aus den in den Tabellen 28 und 29 (S. 171 und 173) mitgetheilten Versuchen ist ersichtlich, dass bei einem auffallend grossen Deficit an Kohlensäure und einer reichlichen Ansammlung der letzteren in der Luft auch der Verlust an Wasser ein bedeutenderer ist, so z. B. an den Versuchen vom 21. Februar, 6. März und 28. April. Auf 100 Stearin beträgt der Ausfall von Wasser (bei 4 Kerzen) 25 Grm.; nach Henneberg's Zahlen würde sich im Mittel ein solcher von 38 Grm. berechnen.

Bei vier Kerzen enthalten darnach die unvollständigen Verbrennungsgase

26 Kohlensäure = 7.0 Kohlenstoff
59 Wasser = 6.5 Wasserstoff.

Nehmen wir das im Verhältniss zum Kohlenstoff an Wasserstoff reichste Gas, das Grubengas, so finden sich darin auf 7 Kohlenstoff nur 2.3 Wasserstoff; es muss also jedenfalls ein grosser Theil des Wasserstoffs als solcher weggehen.

Aehnlich ist es bei der geglühten Luft, in welcher

11.3 Kohlensäure = 3.1 Kohlenstoff
35.4 Wasser = 3.9 Wasserstoff

enthalten sind. Im Grubengas treffen auf 3.1 Kohlenstoff 1.0 Wasserstoff.

Da beim Brennen von einer oder von zwei Kerzen beinahe aller Kohlenstoff in der Form von Kohlensäure sich vorfindet, so müsste dabei vorzüglich Wasserstoffgas als Produkt der unvollständigen Verbrennung auftreten.

Es frägt sich, ob in den bis jetzt ausgeführten Untersuchungen über die Verbrennungsprodukte in Leuchtflammen Anhaltspunkte für die Richtigkeit unserer Beobachtungen sich ergeben. Man kennt durch die schönen Untersuchungen von Hilgard[1]), Landolt[2]), Erdmann[3]), Kersten[4]), Frankland[5]) und Blochmann[6]) Näheres über die Vorgänge in der leuchtenden und der nicht leuchtenden Flamme, speciell über die bei gewöhnlicher Temperatur nicht condensirbaren Verbrennungsprodukte in verschiedener Höhe der Flamme. Aus denselben weiss man, dass unter den letzteren noch unvollständig verbrannte Gase in grosser Menge vorkommen.

Frankland betont die Gegenwart von Kohlenwasserstoffen und er erklärt das Leuchten nicht durch das Glühen von Kohlenstofftheilchen, sondern von verdichteten Kohlenwasserstoffen. — Hilgard fand in der höchsten Höhe einer Talg- oder Wachsflamme noch 1.3—1.9 % Wasserstoffgas neben Kohlenoxyd-, Elayl- und Grubengas. — Nach Landolt ist ebenfalls in der höchsten Höhe

1) Hilgard, Annal. d. Chem. u. Pharm. Bd. 92. S. 129.
2) Landolt, Pogg. Annal. Bd. 99. S. 389.
3) Erdmann, Journ. f. pract. Chem. Bd. 80. S. 253 u. Bd. 83. S. 355.
4) Kersten, Journ. f. pract. Chem. Bd. 84. S. 290.
5) Frankland, Annal. d. Chem. u. Pharm. Suppl. 7. S. 308.
6) Blochmann, Annal. d. Chemie 1873. Bd. 168. S. 295 u. 1874 Bd. 173. S. 167.

einer Leuchtgasflamme unter den genannten Produkten Wasserstoffgas vorhanden, und er bemerkt, dass in einer Höhe von 20 Mm. der prozentige Gehalt an Wasserstoff wieder zunimmt, was er von der Einwirkung des freien Kohlenstoffs auf den Wasserdampf ableitet; er hat aber wie wohl alle seine Vorgänger immer noch die Vorstellung, der Wasserstoff sei das am leichtesten verbrennliche Gas. — Bei Erdmann findet sich zuerst die für uns wichtige Bemerkung, dass die Luftmenge, durch welche die Leuchtkraft einer Gasflamme vernichtet wird, bei weitem nicht genügend ist, das Gas vollständig zu verbrennen, und dass der Sauerstoff zunächst und vorzugsweise an den freien, in der Flamme schwebenden Kohlenstoff tritt. — Das Letztere wurde nun von Kersten weiter ausgeführt; er widersetzt sich der gewöhnlichen Ansicht, nach der bei richtigem Luftzutritte zuerst der Wasserstoff und dann der Kohlenstoff verbrenne, denn es sei kein Beispiel bekannt, dass der Wasserstoff eine grössere Verwandtschaft zum Sauerstoff habe als der Kohlenstoff; es würden vielmehr alle durch Wasserstoff nicht reducirbaren Oxyde durch Kohlenstoff reducirt, der Kohlenstoff verbrenne ferner im Wasserdampf unter Zersetzung des letzteren ebenso gut wie in der Luft zu Kohlenoxyd und Kohlensäure; in einem Gemenge von Kohlenoxyd und Wasserstoff verbrenne endlich ersteres gleichzeitig und nicht erst nach dem Wasserstoff; aus allem diesem schliesst Kersten, dass ehe ein Theilchen Wasserstoff verbrennt, vorher aller Kohlenstoff in Kohlenoxyd umgewandelt wird, und sich dann der noch übrige Sauerstoff in das Kohlenoxyd und den Wasserstoff theilt.

Aus diesen Angaben geht hervor, dass das leicht diffusible Wasserstoffgas unter den Produkten der Verbrennung vorkömmt, ja dass es später als die Kohlenstoff haltigen oxydirt wird, was in vollster Uebereinstimmung mit unseren Resultaten sich befindet. Man kann leider aus den angegebenen Untersuchungen nichts entnehmen über die Quantitäten der in einer bestimmten Zeit schliesslich entwickelten Verbrennungsprodukte.

Man hat merkwürdiger Weise hierüber noch keine Versuche, obwohl man denken sollte, dass dies zunächst und vor der Kenntniss der Vorgänge in einzelnen Theilen der Flamme zu erfahren wichtig gewesen wäre, nicht nur in theoretischer, sondern auch in praktischer,

hygieinischer Beziehung. Aber man hat bis jetzt keinen Apparat gehabt, um solche Bestimmungen auszuführen, welche gerade so angestellt werden müssten wie die Versuche über den Gasaustausch bei einem Thiere. Wir kennen keinen Apparat, der dies ermöglichte, als ein nach dem Muster des Respirationsapparates von Pettenkofer gefertigter. Derselbe erlaubt eine Kerze oder ein Gas unter gewöhnlichen Verhältnissen mit genügender Sauerstoffzufuhr zu brennen, die dabei erzeugte Kohlensäure und Wasser zu bestimmen, und dann durch Glühen von Luftproben auch den Gehalt an Wasserstoff und Kohlenwasserstoffen zu ermitteln. Es scheint uns ein solcher Versuch mit dem Apparate von Regnault nicht möglich zu sein, wenn es auch gelingt eine Flamme darin im Brennen zu erhalten; denn bei dem Regnault'schen Verfahren wird bekanntlich nur die entstandene Kohlensäure weggenommen und dafür neuer Sauerstoff zugeführt, das Wasser und die anderen Gase sammeln sich jedoch im Kasten an, so dass die Luft darin bald mit Wasser gesättigt ist und sich Wasser niederschlägt, wodurch eine quantitative Bestimmung desselben unmöglich wird; diese Anhäufung von Wasser und anderen Gasen wird auch das normale Brennen der Flamme beeinträchtigen. Es wäre gewiss eine dankbare Aufgabe die schliesslichen Verbrennungsprodukte der Leuchtmaterialien auf die angegebene Weise zu untersuchen, da diese nach unseren Erfahrungen complicirter sind, als man es sich im Allgemeinen vorgestellt hat.

Es frägt sich, ob nach dieser Sachlage der Einwand Regnault's[1]), dass unser Verfahren der Controlbestimmung am Respirations-Apparate ein barbarisches sei, weil die Verbrennung einer Kerze stets unvollständig ausfalle und das Resultat trübende Nebenprodukte liefere, nicht begründet sei. Nach den vielen von uns und Anderen ausgeführten Controlbestimmungen der Kohlensäure ist es keinem Zweifel unterworfen, dass mit unserem Apparate bis auf etwa 1% der Kohlenstoff, welcher in der verbrannten Stearinsäure enthalten ist, in der Form von Kohlensäure erhalten werden kann, und es wird desshalb eine brennende Stearinkerze immer

1) J. Seegen, Sitzungsber. d. k. k. Akad. d. Wissensch. 2. Abth. 1871. Bd. 63.

noch das einfachste Verfahren bleiben, die Brauchbarkeit eines Apparates der Art für die Untersuchung der Kohlensäure zu prüfen. Für die Controlbestimmung des Wassers haben wir jetzt allerdings erfahren, dass eine Stearinkerze dafür nicht bequem ist, weil zu viel ihres Wasserstoffs nicht zu Wasser verbrennt und man desshalb dabei ein Verfahren anwenden müsste, bei welchem diese unvollständigen Verbrennungsprodukte völlig verbrannt und ebenfalls gewonnen würden. Da dies aber jedenfalls ein zu umständliches Verfahren ist, so ist es am besten, den Respirationsapparat auf die Genauigkeit seiner Angaben für Wasser durch Verdampfung einer bestimmten Wassermenge zu prüfen, wie wir es zuletzt gethan haben.

Regnault hat bei seiner Antwort übersehen, dass es bei unseren Einwänden gegen die Resultate von Reiset nicht darauf ankam, dass mit dessen Apparate keine Controlbestimmungen mit Stearinkerzen, sondern dass überhaupt keine Controlbestimmungen gemacht worden sind. Man ist, wie schon im Eingange unserer Abhandlung gesagt wurde, nicht im Stande bei so complicirten Apparaten vorauszusehen, ob Alles auch gerade so arbeitet, wie man es voraussetzt, und darum hat Jeder jetzt die Verpflichtung seinen Apparat zu prüfen, da man hiefür nach Pettenkofer's Vorgang die Möglichkeit dafür hat; Regnault hätte ganz gut seinen Apparat durch Entwicklung einer bestimmten Menge von Kohlensäure aus einem kohlensauren Salze prüfen können, oder auch mit einer brennenden Stearinkerze, da ihm ja die Mittel zu Gebote stehen, die Luft auf Wasserstoffgas und Grubengas etc. zu untersuchen, und er nur den Kohlenstoff des Stearins wieder zu finden hat, gleichgültig, in welchen Produkten derselbe enthalten ist. Man beseitiget eine so begründete Anforderung wie die unsrige nicht dadurch, dass man versichert, der Apparat wäre stets in Ordnung gewesen. Regnault hat offenbar keine Kenntniss davon, dass Pettenkofer's Bemerkungen sich vorzüglich nur auf Reiset's ganz unglaubliche und unmögliche Angaben an den grössern landwirthschaftlichen Hausthieren (mit seinem grösseren Apparat) beziehen, und dass der eine von uns (C. Voit) sich bei seinen Auseinandersetzungen viel weniger gegen die frühere Methode

Regnault's, sondern vor Allem gegen diejenigen wendet, welche seine Resultate über den Stickstoffwechsel im Athemraum für einen Beweis einer bei Ernährungsversuchen berücksichtigungswerthen Ausscheidung von Stickstoff aus den stickstoffhaltigen Stoffen des Thierkörpers halten.

Wir glauben durch die vorstehenden Untersuchungen dargethan zu haben, dass der im hiesigen physiologischen Institute aufgestellte Respirationsapparat nicht nur die Kohlensäure, sondern auch das Wasser so genau als man es zur Beantwortung der gestellten Fragen nöthig hat, bestimmen lässt, und dass es nothwendig ist, jeden Apparat, mit welchem man sich über den Gaswechsel eines Thierkörpers unterrichten will, vorerst durch Entwicklung einer bekannten Menge von Kohlensäure und Wasser auf den Grad der Genauigkeit seiner Angaben zu prüfen.

# Physiologische Spektralanalysen.

(Hierzu Tafel I.)

(Fortsetzung.)

Von

K. Vierordt.

## VI. Das Absorptionsspektrum der Indigblauschwefelsäure.

Zur spektralanalytischen Bestimmung des Indiggehaltes des Urines benutzte ich, S. 27 des 10. Bandes dieser Zeitschrift, vorläufig eine Indigcarminlösung von bekanntem Gehalt, mit dem Vorbehalt, die Photometrie des Spektrums einer reinen Indigblauschwefelsäurelösung demnächst vorzunehmen. Ich verdanke der Gefälligkeit meines geehrten Collegen Fittig eine von Demselben frisch dargestellte Lösung der Indigblausulphosäure, ausserdem aber auch eine Suspension von chemisch reinem Indigblau in Wasser, beide von genau bekanntem Gehalte. Diese Flüssigkeiten dienten zu den in Nachfolgendem mitzutheilenden spektralanalytischen Untersuchungen.

Es wurde 0.0146 Grm. chemisch reines Indigblau in die Sulfosäure verwandelt und die Lösung auf 947 Kubikctm. verdünnt. Demnach enthält 1 Liter dieser Flüssigkeit eine Quantität Indigblauschwefelsäure, welche 0.015417 Grm. Indigblau entspricht, ein Gehalt, der dem Indigblaugehalt der in Tab. XVI analysirten Flüssigkeit gleichkommt. Die gesättigt blaue Lösung zeigt im Lichte der Petroleumflamme und den bei meinen früheren Versuchen gültigen Nebenbedingungen folgende Grenzen des Absorptionsspektrums und des für diesen Körper charakteristischen Absorptions-Bandes

| Dicke d. durchstrahlten Flüssigkeitsschicht | Linke | Rechte | Linke | Rechte |
|---|---|---|---|---|
| | Grenze des Spektrums | | Grenze des Absorptionsbandes | |
| 1 Ctm. | Etwas jenseits A | G 60 H | C 25 D | C 85 D |
| 2 „ | A | G 48 H | C 25 D | D 11 E |

Die Lichtstärke konnte in sämmtlichen Spektralregionen bei der oben angegebenen Concentration untersucht werden, da die Unterschiede der Absorption für die spektralen Einzelfarben nicht sehr bedeutend sind. Von B 87 C an bis D 88 E wurde eine 1 Ctm. dicke Flüssigkeitsschicht angewandt. Die geringe Absorption von A bis B 87 C, sowie von D 88 E an bis ins Violett erforderte eine 2 Ctm. dicke Flüssigkeitsschicht; die übrigbleibende Lichtstärke in diesen mit * bezeichneten Spektralbezirken ist, der Vergleichung wegen, selbstverständlich für eine blos 1 Ctm. dicke Schicht berechnet. Blos 2 eingeklammerte Messungen wurden bei Concentration 1/2 aber 2 Ctm. dicker Flüssigkeitsschicht ausgeführt, und in D 70 E—D 88 E noch eine Messung der Absorption der gewöhnlich concentrirten Flüssigkeit bei 2 Ctm. angestellt, wobei wiederum die übrigbleibende Lichtstärke für eine 1 Ctm. dicke Schicht berechnet ist.

Die Absorptionsverhältnisse (Gehalt der Lösung dividirt durch Exstinktionscoëfficient) sind in der nachfolgenden Tabelle nicht für Indigblauusulfosäure, sondern für Indigblau berechnet. Dadurch kann Tab. XIV besser mit Tab. XVI verglichen werden.

In den Tabellen XIV und XVI sind die den beobachteten Lichtstärken entsprechenden Exstinktionscoëfficienten, der Raumersparniss wegen, weggelassen und blos die Lichtstärken und Absorptionsverhältnisse angegeben. Auch lasse ich, nachdem ich schon in hunderten von Fällen in meinen früheren Arbeiten Controlmessungen mitgetheilt habe, die vielfach wiederholten Messungen der Lichtstärke eines und desselben Spektralbezirkes weg.

Tabelle XIV.

Absorptionsspektrum der Indigblauschwefelsäure von 0.000015417 Indigblaugehalt.

| Spektralregion | Uebrigbleibende Lichtstärke (1 Ctm. dicke Flüssigkeitsschicht) | Absorptionsverhältniss | Spektralregion | Uebrigbleibende Lichtstärke (1 Ctm. dicke Flüssigkeitsschicht) | Absorptionsverhältniss |
|---|---|---|---|---|---|
| A—a | 0.975* | 0.001346 | B 87 C—C 15 D | 0.403 | 0.0000388 |
| a—B 25 C | 0.876* | 0.0002681 | C 15 D—C 40 D | 0.232 | 0.0000243 |
| B 25 C—B 87 C | 0.696* | 0.0000979 | | (0.245a) | |

| Spektralregion | Uebrig-bleibende Lichstärke (1 Ctm. dicke Flüssigkeits-schicht) | Absorp-tionsver-hältniss | Spektralregion | Uebrig-bleibende Lichtstärke (1 Ctm. dicke Flüssigkeits-schicht) | Absorp-tionsver-hältniss |
|---|---|---|---|---|---|
| C 40 D—C 65 D | 0.172 (0.175a) | 0.0000201 | E 44 F—E 63 F | 0.653* | 0.0000833 |
| C 65 D—C 90 D | 0.148 | 0.0000173 | E 63 F—E 80 F | 0.702* | 0.0001003 |
| C 90 D—D 11 E | 0.182 | 0.0000208 | E 80 F—F | 0.719* | 0.0001076 |
| D 11 E—D 30 E | 0.218 | 0.0000233 | F—F 22 G | 0.740* | 0.0001176 |
| D 30 E—D 50 E | 0.263 | 0.0000265 | F 22 G—F 43 G | 0.755* | 0.0001263 |
| D 50 E—D 70 E | 0.354 | 0.0000341 | F 43 G—F 64 G | 0.757* | 0.0001275 |
| D 70 E—D 88 E | 0.427 (0.436b) | 0.0000417 | F 64 G—F 87 G | 0.768* | 0.0001345 |
| D 88 E—E 7 F | 0.542* | 0.0000581 | F 87 G—G 10 H | 0.781* | 0.0001436 |
| E 7 F—E 26 F | 0.616* | 0.0000733 | G 10 H—G 60 H | ungefähr 0.85* | — |
| E 26 F—E 44 F | 0.63* | 0.0000768 | | | |

Die Indigblauschwefelsäure absorbirt demnach das äusserste rothe Licht am wenigsten; die Absorption nimmt von a an rasch zu und erreicht in C 65 D—C 90 D (der rechten Hälfte des Absorptionsbandes) ihr Maximum, welches 78 Mal grösser ist, als das Minimum in A—a. Von C 90 D an sinkt die Absorption wieder und zwar continuirlich bis zum violetten Ende des Spektrums.

Das Spektrum dieser schön blauen Flüssigkeit zeigt im Blau von F—G eine ungefähr 12 Mal stärkere (!) Lichtabsorption als im Roth von A—a. In der Mitte zwischen G und H ist die Absorption ungefähr ebenso stark als in der Gegend von B. Die graphische Projektion der Absorptionsverhältnisse ergibt eine von A—C 90 D abfallende Curve (die Convexität gegen die Abscissenaxe gerichtet) und von C 90 D bis gegen H eine aufsteigende. Die aufsteigende scheint bis etwa E 45 F eine schwache Convexität gegen die Abscissenaxe zu bilden, von E 45 F bis ungefähr F 40 G nimmt sie eine schwache Concavität gegen die Abscisse an, um im äussersten Blau und im Violett wieder convex gegen die Abscisse aufzusteigen.

---

a bedeutet Concentration $\frac{1}{2}$ bei 2 Ctm. dicker Schicht.

b bedeutet Conc. 1 bei 2 Ctm. dicker Schicht.

## VII. Das Absorptionsspektrum des Indigblau.

Chemisch reines Indigblau wurde mittelst Eisenvitriol und Kalk in Indigweiss verwandelt. Das aus 150 Kubikctm. dieser Indigweisslösung erhaltene Indigblau wog 0.0208 Grm.

25 C. C. M. der Indigweisslösung wurden mit 200 Kubikctm. Wasser verdünnt; diese 225 Kubikctm. enthielten demnach 0.003467 Grm. Indigblau, also war der Indigblaugehalt der Flüssigkeit 0.000015407.

Da das blaue Pigment im Harn in der Form des Indigblau vorkommt, so hatte ich der Untersuchung dieses Absorptionsspektrums eine besondere Sorgfalt zu widmen. Dem obersten Grundsatz der Spektralanalyse, nur mit völlig klaren „Lösungen" zu operiren, kann freilich in dem vorliegenden Falle nicht entsprochen werden. Das Indigblau ist wegen seiner Unlöslichkeit blos in feinster Suspension im Harn enthalten; die mir zu Gebot stehende Flüssigkeit war eine so feine Aufschwemmung, dass sie dem Auge wie eine klare Lösung erschien. Auch das Mikroskop liess keine sichtbaren Theilchen in dieser Flüssigkeit erkennen. Erst nach 2—3 Tage langem Stehen entstand ein schwacher blauer Bodensatz[1]), der nach kurzem Umschütteln sogleich wieder verschwand. Im Vergleich zu einer wirklichen Indigblaulösung (also z. B. einer Indigblauschwefelsäurelösung von gleichem Indigblaugehalt) erscheint aber im durchfallenden wie auffallenden Licht unsere Suspension sehr viel weniger gesättigt und weniger rein blau in Folge der zahllosen Lichtreflexionen der aufgeschwemmten Partikelchen. Die Photometrie hat also hier zunächst die Frage zu beantworten, ob die Lichtabsorption von Farbstoffen, die nicht eigentlich gelöst im Menstruum enthalten sind, dem für wirkliche Lösung geltenden allgemeinen Absorptionsgesetze gehorcht.

In a—B25C war (s. Tab. XVI) die übrigbleibende Lichtstärke 0.257, also der Exstinctionscoëfficient 0.590. Demnach ist das

---

1) Aus concentrirteren Suspensionen bildet sich der Niederschlag natürlich viel schneller.

Absorptionsverhältniss $\frac{0.000015417}{0.590} = 0.00002611$. Wurde die Flüssigkeit auf die Hälfte verdünnt (also Gehalt 0.0000077085), so war die übrigbleibende Lichtstärke 0.520 (Exst.-Coëff. 0.2840), also Absorptionsverhältniss = 0.0000271.

Ferner ergab D 11 E — D 30 E bei gewöhnlicher Concentration eine übrigbleibende Lichtstärke von 0.366 und als Absorptionsverhältniss 0.0000353, wogegen das Spektrum der wiederum auf die Hälfte verdünnten Flüssigkeit in derselben Region die Lichtstärke 0.615, also das Absorptionsverhältniss 0.0000364 zeigte. Diese Erfahrungen beweisen, dass das für reine Lösungen gültige Absorptionsgesetz auch für Flüssigkeiten gilt, in welchen die gefärbten Körper blos im Zustande der feinsten Suspension enthalten sind.

Die Bläuung meiner Indigblauflüssigkeit war absichtlich so genommen worden, dass dieselbe unmittelbar zur quantitativen Spektralanalyse verwendet werden konnte; bei dem, wie es sich herausstellte, auffallend geringen Unterschiede der Lichtabsorption der einzelnen Spektralfarben durch Indigblau konnte die ursprüngliche Flüssigkeit zur Photometrie in sämmtlichen Spektralregionen benützt werden.

Die Indigblauflüssigkeit von dem angegebenen Gehalt gibt bei 1 Ctm. Dicke der durchstrahlten Schicht und den übrigen, in meinen früheren Arbeiten erwähnten Nebenbedingungen (Petroleumflamme u. s. w.) des Versuches ein schlecht begrenztes Absorptionsband im Roth. Dieses Band verschwindet, wenn die seiner rechten Grenze (B 25 C) zunächstgelegene Spektralregion abgeblendet wird, bleibt aber bestehen auch nach Abblendung seiner linken Grenze. Die nachfolgende Tabelle gibt die Ausdehnung des ganzen sichtbaren Absorptionsspektrums, sowie des Absorptionsbandes bei verschiedenen Dicken der durchstrahlten Flüssigkeitsschicht, oder, was auf dasselbe hinauskommt, bei verschiedenen Concentrationen der einfachen (1 Ctm. dicken) Flüssigkeitsschicht. Demnach entsprechen 8 Ctm. einer 1 Ctm. dicken Schicht einer Flüssigkeit von 0.0001232 Indigblaugehalt.

## Tabelle XV.

Absorptionsspektrum einer Indigblauflüssigkeit von 0.000015407 Gehalt.

| Dicke d. durchstrahlten Flüssigkeitsschicht in Ctm. | Grenzen des Absorptionsspektrums | | Absorptionsband | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Links | Rechts | linke Grenze | rechte Grenze | |
| 1 | Wenig über A | | a | B 25 C | |
| 2 | Wenig über A | | a | B 62 C | |
| 3 | | G 15 H | a | B 75 C | |
| 4 | | G 34 H | a | B 90 C | |
| 5 | A | G 10 H | a | C 10 D | sehr schwaches zweites Absorptionsband etwa von D 50 E bis D 77 E |
| 6 | A | F 87 G | a | C 15 D | |
| 8 | Noch Spur von Roth, aber Grenze nicht erkennbar | F 43 G | nicht mehr kenntlich | C 55 D sehr undeutlich | zweites Absorptionsband schlecht begrenzt, von etwa D 26 E—D 88 E |

Das Spektrum des in Wasser im feinsten Zustande aufgeschwemmten Indigblau zeigt in den einzelnen Spektralregionen (s. Tabelle XVI) nur sehr geringe Unterschiede der Lichtabsorption, indem die Stelle stärkster Absorption (im Roth) einen Lichtverlust erleidet, der blos etwas über das Dreifache grösser ist als an der Stelle geringster Absorption (vor G). Die Region G—H konnte nicht untersucht werden. Mit diesen geringen Absorptionsunterschieden für die verschiedenen Spektralfarben hängt die geringe Sättigung zusammen, welche die Indigblauflüssigkeit im Vergleich zu dem schönen Blau der Indigblausulfosäure zeigt; die Bläuung der Indigblauflüssigkeit erklärt sich übrigens zur Genüge aus der Thatsache, dass gerade die blauen Strahlen unter allen am wenigsten absorbirt werden.

Zeichnen wir die Absorptionsverhältnisse als Ordinaten ein, während auf die Abscissenaxe die Wellenlängen aufgetragen werden, um die Grösse der Lichtabsorption in allen Theilen des Spektrum's rasch überblicken zu können, so sieht man, dass die Absorption vom äussersten Roth in der Richtung gegen a rasch zunimmt; zwischen a und B

(Stelle des ersten Absorptionsbandes) zeigt sie ihr Maximum, von wo an die Absorption wieder abnimmt in der Richtung gegen das Violett, doch so, dass an zwei Stellen diese Abnahme durch eine kleine Zunahme der Absorption unterbrochen wird. In C 65 D bis C 90 D und D 50 E — D 70 E zeigt nämlich das Absorptionsverhältniss eine kleine Abnahme; zwischen D 50 E und D 70 E konnte ich auch ein schwaches Absorptionsband wahrnehmen.

Das Spektrum des Indigblau und der Indigblauschwefelsäure zeigen demnach erhebliche Verschiedenheiten.

| Indigblau | Indigblauschwefelsäure |
|---|---|
| Maximale Absorptionsdifferenz etwas über das Dreifache | Maximale Absorptionsdifferenz 78fach |
| Stelle geringster Absorption im Blau | Stelle geringster Absorption im Roth |
| 2 Absorptionsbänder. Das stärkste Band im Roth | 1 Absorptionsband im Orange |

Die letzte Vertikalkolumne der Tabelle XVI vergleicht die Stärke der Absorption (d. h. die Absorptionsverhältnisse) je gleichnamiger Bezirke beider Spektren. Man sieht, dass die Absorptionsverhältnisse des Indigblau zwischen C 25 D bis D 70 E einen höheren Werth haben, dass also die Absorption durch das Indigblau im Vergleich zur Indigblauschwefelsäure in dieser Spektralregion geringer ist; wogegen von D 70 E an bis ins Violett, noch viel mehr aber von A bis C 25 D die Indigblauschwefelsäure weniger Licht absorbirt als das Indigblau.

## Tabelle XVI.

Photometrie des Absorptionsspektrums einer Indigblau enthaltenden Flüssigkeit (Gehalt im Liter 0.015407 Grm. Indigblau.)

| Spektralregion | Uebrigbleibende Lichtstärke nach Durchstrahlung einer 1 Ctm. dicken Schicht | Absorptions-verhältniss | Absorptionsverhältnisse des suspendirten Indigblau mit der Indigblausulfosäure verglichen (Letztere = 1000.) |
|---|---|---|---|
| A—a | 0.464 | 0.00004620 | 84 |
| a—B 25 C | 0.257 | 0.00002611 | 97 |
| B 25 C—B 87 C | 0.27 | 0.00002709 | 277 |

| Spektralregion | Uebrigbleibende Lichtstärke nach Durchstrahlung einer 1 Ctm. dicken Schicht | Absorptionsverhältniss | Absorptionsverhältnisse des suspendirten Indigblau mit der Indigblausulfosäure verglichen (Letztere = 1000.) |
|---|---|---|---|
| B 87 C—C 25 D | 0.293 | 0.00002890 | 745 |
| C 25 D—C 65 D | 0.30 | 0.00002947 | 1340 |
| C 65 D—C 90 D | 0.294 | 0.00002898 | 1675 |
| C 90 D—D 11 E | 0.328 | 0.00003182 | 1530 |
| D 11 E—D 30 E | 0.366 | 0.00003530 | 1515 |
| D 30 E—D 50 E | 0.385 | 0.00003728 | 1408 |
| D 50 E—D 70 E | 0.476 | 0.00003627 | 1065 |
| D 70 E—D 88 E | 0.421 | 0.00004101 | 983 |
| D 88 E—E 7 F | 0.452 | 0.00004467 | 769 |
| E 7 F—E 26 F | 0.473 | 0.00004738 | 646 |
| E 26 F—E 44 F | 0.488 | 0.00004945 | 643 |
| E 44 F—E 63 F | 0.518 | 0.00005393 | 647 |
| E 63 F—E 81 F | 0.531 | 0.00005604 | 560 |
| E 81 F—F | 0.538 | 0.00005723 | 531 |
| F—F 22 G | 0.568 | 0.00006271 | 533 |
| F 64 G—G | etwa 0.64 | etwa 0.000080 | — |

Das Absorptionsspektrum der Indigblauschwefelsäure oder eines ihrer Salze darf demnach dem des Indigblau nicht, wie ich in meiner früheren Arbeit über die spektralanalytische Bestimmung des Indigogehalts des Urins verfuhr, substituirt werden, und muss ich mir die weitere Prüfung der letzteren Frage für später vorbehalten. Ich bemerke nur noch, dass der Indigogehalt des Seite 27 des X. Bandes dieser Zeitschrift von mir untersuchten pathologischen Harnes bedeutend unter 0.000015 liegen muss, da eine Indigoflüssigkeit von diesem Gehalt nach obiger Tabelle XV ein deutliches Absorptionsband zeigt, was in dem Spektrum des fraglichen Urines nicht der Fall war.

Schliesslich will ich die Bemerkung nicht unterlassen, dass mittelst der quantitativen Spektralanalyse die Güte der Indigosorten bequem und viel sicherer bestimmt werden kann als mittelst der bisherigen Verfahrungsweisen.

Anmerkung. Die beigegebene Tafel gibt die graphische Darstellung der Stärke der Absorption der einzelnen Spektralfarben durch Indigblauschwefelsäure und Indigblau. Die Tafel ist ähnlich construirt wie die Fig. II, welche meiner

im 1. Heft des X. Bandes dieser Zeitschrift veröffentlichten Abhandlung beigegeben ist.

Auf die Abscisse sind die wichtigsten Fraunhofer'schen Linien eingetragen und zwar in den ihren Wellenlängen entsprechenden Abständen. Auf einer unterhalb der Abscisse und parallel mit letzterer verlaufenden Linie sind für 12 Stellen des Spektrums die Wellenlängen in Millionteln eines Millimeters verzeichnet.

Die zwischen den Fraunhofer'schen Linien eingetragenen Zahlen beziehen sich auf den Ort der betreffenden Spektralstelle im prismatischen Spektrum. Die Ordinaten entsprechen den „Absorptionsverhältnissen," welche die besten, weil ganz allgemein gehaltenen, und für die verschiedenen Concentrationen der lichtabsorbirenden Flüssigkeiten geltenden Ausdrücke der Absorptionsstärken geben. Die Ordinatenwerthe repräsentiren demnach auch diejenigen Dicken der lichtabsorbirenden Flüssigkeit, welche das Licht der einzelnen Spektralfarben jeweils um denselben Betrag schwächen. Um den Raum der Tafel vollständig auszunützen und somit möglichst deutliche Absorptionscurven zu gewinnen, musste für jedes Spektrum die dem kleinsten Absorptionsverhältnisse entsprechende Ordinate der Abscisse möglichst nahe gebracht werden, wogegen die Ordinate, welche das grösste Absorptionsverhältniss ausdrückt, so lang werden musste, als es die Höhe der Tafel erlaubt. Desshalb musste aber auch jedes Spektrum eine besondere Skala seiner Absorptionsverhältnisse erhalten. Der Nullpunkt der Ordinaten für die Indigblauschwefelsäure liegt, wie man sieht, sehr nahe, der für das Indigblau aber sehr weit unter unserer Abscissenaxe. Die punktirte Curve der Indigblauschwefelsäure lässt von B bis G, wegen der geringen Ordinatenwerthe, keinen genaueren Ueberblick zu; desshalb ist eine zweite Curve eingezeichnet, deren 10mal grössere Ordinaten einen viel deutlicheren Einblick gestatten, wobei nur die Ordinaten der Spektralregion A bis B 22 C wegfallen mussten.

## VIII. Das Hämoglobulinspektrum am lebenden Menschen.

Verdeckt man den Eintrittsspalt eines kleinen Spektroskopes mit einem Finger, am besten dem fünften, so sieht man fast den ganzen rothen und orangefarbigen Bezirk des Spektrums schon bei Anwendung der Petroleumflamme, ja selbst des gewöhnlichen Tageslichtes. Der ganze übrige Bereich des Spektrums ist aber dunkel. Zum Nachweis der charakteristischen Aborptionsbänder des Hämoglobulins benützte ich das Sonnenlicht, das mittelst des Heliostaten meinem zur Photometrie ausschliesslich gebrauchten grösseren Spektralapparate zugeleitet wurde. Der Eintrittsspalt hatte 0.4 Mm. Breite.

Der 4. und 5. Finger wurden so vollständig aneinandergelegt, dass das Licht nur durch die Weichtheile durchgehen konnte; man sieht dann, gegen ein Licht gehalten, die Grenzlinie beider

Finger bekanntlich sehr viel heller roth, als die kaum noch transparenten Phalangen.[1]) Diese Grenzlinie wurde auf den Eintrittsspalt des Spektralapparats gelegt. Das Spektrum erstreckt sich nunmehr von A 60 a an bis etwa E 80 F, wobei Roth und Orange relativ lichtstark sind. Die beiden Absorptionsbänder des Oxyhämoglobulin konnten deutlich erkannt und deren Grenze bestimmt werden. Das linke Band erstreckte sich von C 95 D bis D 19 E, das rechte von D 59 E bis D 88 E.

Um die ersten Phalangen beider Finger legte ich sodann Kautschukringe, welche die Weichtheile genügend drückten, um den Blutlauf in denselben zum Stillstand zu bringen. Nach einigen Minuten waren die beiden Bänder verschwunden, und es konnte das einzige Absorptionsband des reducirten Hämoglobulins deutlich wahrgenommen werden. Dieses Spektrum erstreckte sich von etwa A 50 a bis etwa E 70 F, die helle Region reichte bis etwa C 85 D. Das Absorptionsband nahm den Raum von D 15 E bis D 61 E ein. Um die Absorptionsbänder mit voller Deutlichkeit wahrzunehmen, ist die Abblendung des Roth und des anliegenden Orange durch die von mir gebrauchten Schieber im Ocularrohre erforderlich.

Die Stellen dieser 3 Bänder fallen mit denen zusammen, welche das Blut (von bestimmter Verdünnung und bestimmter Dicke der durchstrahlten Schicht) giebt. So erhielt ich z. B. (pag. 89 meiner Schrift über quantitative Spektralanalyse) bei einem Rindsblut C 95 D bis D 19 E und D 53 E bis D 87 E als Regionen beider Absorptionsstreifen des Oxyhämoglobulinspektrums.

Photometrische Messungen der auf diese Weise erhaltenen Spektren halte ich vorläufig noch nicht am Platze, da die lichtabsorbirende Kraft der übrigen Gewebe vorher bestimmt werden muss, wozu sich, wie ich später hoffe zeigen zu können, der Finger des Versuchsindividuums selbst benützen lässt. Zur Untersuchung der betreffenden Spektren bei verschiedenen Individuen wird eine kleine Vorrichtung nöthig sein, welche die Hand, resp. die Finger

---

1) Blendet man die helle transparente Stelle des Zwischenraumes ab, so erscheint auch die Mitte des Fingers noch schwach dunkelroth gefärbt.

vor dem Eintrittsspalt des Spektralapparates bequem und sicher fixirt. Auffallend ist immerhin die Transparenz der Gewebe, indem selbst die Mitte der Phalanx, also auch der Knochen, kleine Antheile rothen Lichts noch durchlassen. Die Absorptionsspektren von Fingern kleiner Kinder sind ohne Zweifel erheblich heller. Analoge Versuche an transparenten Theilen an Thieren dürften sehr zu empfehlen sein und mancherlei Versuchsvariationen zur Lösung bestimmter physiologischen und pathologischen Fragen gestatten.

---

# Asparaginsäure, ein Produkt der künstlichen Verdauung von Kleber durch die Pancreas-Drüse.

Von

Dr. W. v. Knieriem.

Privat-Docent der Agricultur-Chemie an der Universität Dorpat.

Der Umstand, dass die Asparaginsäure den thierischen Organismus als Harnstoff verlässt,[1]) musste in Erwägung der Resultate von Kühne,[2]) Ritthausen,[3]) Kreussler,[4]) und Hlasiwetz,[5]) nothwendig zu der Frage führen: Bildet die Asparaginsäure ebenso wie Leucin und Glycocoll im Organismus ein Uebergangsglied zwischen Eiweiss und Harnstoff, d. h. ist dieselbe in den Verdauungswegen des Organismus überhaupt vorhanden?[6])

Die direkte Beantwortung dieser Frage durch den Nachweis der Asparaginsäure im Darmchymus würde bei dem schon ohnehin nicht leichten Nachweis derselben auf zu grosse Schwierigkeiten stossen, daher beschränkte ich mich nur auf eine etwaige Isolirung derselben aus den Produkten einer künstlichen Pancreasverdauung,

---

1) Cfr. diese Zeitschrift X, pag. 281. 1874.

2) Virchow's Archiv Bd. XXXIX, p. 157. 1867.

3) Journal für prakt. Chemie Bd. 107, p. 218. 1869.

4) Journal für prakt. Chemie Bd. 107, p. 240. 1869.

5) Journal für prakt. Chemie Bd. 115, p. 397. 1873.

6) Schon in meiner früheren Arbeit: „Beiträge zur Kenntniss der Bildung des Harnstoffs" (diese Zeitschrift Bd. X, p. 278. 1874) habe ich dieser Versuche Erwähnung gethan, ohne die unterdessen veröffentlichte Arbeit von Salkowski und Radziejewski (Berichte der deutsch. chem. Gesellsch. Bd. VII, p. 1050. 1874), durch deren Resultate die Frage eigentlich schon entschieden ist, zu kennen, doch glaube ich auch meine Versuche veröffentlichen zu müssen, weil ich ein anderes Material angewandt habe und weil die citirte Arbeit auf die näheren Details nicht eingeht.

indem ich von der Voraussetzung ausging, dass bei der Verdauung im lebenden Thiere aus dem Eiweiss dieselben Zersetzungsprodukte entstehen, wie bei der künstlichen Pancreasverdauung. Zu dieser Voraussetzung hielt ich mich nach den Resultaten der schon citirten Kühne'schen Arbeit für vollständig berechtigt. Da nach den Erfahrungen Ritthausen's und Kreussler's Pflanzenprotëinstoffe bei der Zersetzung mit Schwefelsäure die Asparaginsäure in grösserer Menge liefern als thierische Proteïnstoffe, so wandte ich bei meinen Versuchen Weizenkleber an, den ich mir selbst durch sorgfältiges Waschen aus Weizenmehl dargestellt hatte.

Eine Portion Weizenkleber, entsprechend 224 Grm. Trockensubstanz, wurde mit der sorgfältig vom Fett gereinigten, fein zerschnittenen Pancreasdrüse eines grossen Hundes und 4 Litern Wasser 10 Stunden in einem Brütofen einer Temperatur von 40—45° C. ausgesetzt. Die Pancreasdrüse des vorher mit Fleisch stark gefütterten Hundes wog 84 Grm, gleich 19.6 Grm. Trockensubstanz.

Nach vierstündiger Einwirkung war ein grosser Theil der Drüsensubstanz aufgelöst, nach 8 Stunden fing das alkalische Gemisch an stark zu schäumen und bekam den faden Geruch einer ungesalzenen Fleischbrühe, später den einer Leimabkochung.

Gleich nach Beendigung der Verdauung wurde das Gefäss, um die Entwicklung fäulnissbedingender Fermente so viel als möglich auszuschliessen, in Eiswasser gestellt und durch Leinen filtrirt.

Ungelöst blieben 80 Grm. Trockensubstanz, 163.6 Grm. waren also in Lösung übergegangen. Das alkalische Filtrat wurde nun rasch zum Kochen gebracht unter Zusatz von etwas Essigsäure bis zur schwach sauren Reaktion; es schied sich dabei ein Coagulum von 5.3 Grm. Trockensubstanz aus. Wirklich verdaut waren also 158.3 Grm.

Das Filtrat wurde nun auf ein möglichst kleines Volumen abgedampft, wobei sich deutlich Ammoniak und flüchtige Fettsäuren, namentlich Buttersäure entwickelten, darauf, um die Peptone abzuscheiden, mit 96% Alkohol so lange versetzt, als noch eine Fällung eintrat. Nach 24stündigem Stehen in der Kälte wurde filtrirt, die Peptone, welche getrocknet eine hornartig feste Masse darstellten, wogen 68 Grm.

Von dem Filtrat, welches noch 90.3 Grm. aufgelöst enthielt, wurde der Alkohol abdestillirt, bis sich weisse Rinden ausschieden; darauf wurde die Destillation unterbrochen und das Gemisch in die Kälte gestellt. Nach 24 Stunden war eine erhebliche Krystallisation eingetreten. Die Krystalle wurden abfiltrirt und mit Eiswasser auf dem Filter gewaschen, bis das Filtrat farblos ablief. Das Waschwasser wurde auf dem Wasserbade concentrirt und in die Kälte gestellt; es konnten nach 24 Stunden ziemlich reine Krystalle abfiltrirt werden. Diese Procedur wurde sowohl mit der Mutterlauge, als mit dem Waschwasser im Verlauf von 6 Tagen noch 3 mal wiederholt. Die so erhaltene Krystallmenge betrug ca. 20 Grm. Durch mehrmaliges Entfärben mit Thierkohle erhielt ich dieselben blendend weiss. Unter dem Mikroskop erwies die Krystallmasse sich als ein in der Menge wechselndes Gemisch von Tyrosin-Nadeln und Leucin-Warzen; während die erste Krystallisation fast nur aus Tyrosin bestand, herrschte bei den letzten das Leucin vor. Selbstverständlich wurden mit diesen Krystallen die charakteristischen Reaktionen angestellt, namentlich die Piria'sche, Scherer'sche und die von L. Meyer modificirte Hoffmann'sche Probe. Die Lösung dieser Krystallmassen in Wasser reagirte völlig neutral.

Bei weiterem Eindampfen der stark sauren Mutterlauge bis zur Syrupconsistenz schied sich auch nach 8 tägigem Stehen nichts mehr aus. Die ganze Masse wurde nun im Wasser gelöst und mit frisch gefälltem Kupferoxydhydrat längere Zeit gekocht, wobei eine grosse Menge des Kupfers in Lösung ging. Das dunkelblaue Filtrat vom überschüssigen Kupferoxydhydrat abfiltrirt, wurde bis zur Hälfte eingedampft und zur Krystallisation über Schwefelsäure gestellt. Nach 24 Stunden hatten sich hellblaue Krystallnadeln abgeschieden, die durch ein Leinwandfilter mit Hilfe von starker Druckdifferenz von der Mutterlauge getrennt wurden. Dieselbe weiter eingedampft, schied noch mehrere Mal Krystalle ab,[1] die mit den früheren vereinigt wurden (Krystallisation A.).

---

1) Quantitative Bestimmungen konnten jetzt nicht mehr gemacht werden, da die Gewinnung und namentlich die weitere Reinigung der einzelnen Krystallmassen zu viel Verluste verursacht.

Als die Mutterlauge keine Neigung zur Krystallisation mehr zeigte, wurde sie entkupfert, heiss mit kohlensaurem Bleioxyd behandelt und das überschüssige kohlensaure Salz abfiltrirt, das Filtrat auf ein möglichst kleines Volumen gebracht und mit Spiritus versetzt. Es entstand dabei ein schmutzig gelber geringer Niederschlag, der in Wasser gelöst noch einigemal mit Spiritus gefällt wurde. Die Verunreinigungen wurden auf diese Art vom Spiritus aufgelöst und der Niederschlag nahm eine ganz andere physikalische Beschaffenheit an; während er zuerst an den Glaswandungen haftete, wurde er jetzt ziemlich locker und löste sich schwieriger in Wasser. Der Niederschlag wurde entbleit, das Schwefelblei abfiltrirt, das Filtrat mit Thierkohle gereinigt und mit Kupferoxydhydrat heiss behandelt. Das blaue Filtrat setzte nach einiger Zeit hellblaue Krystalle ab, aber in so geringer Menge, dass nur eine Kupferbestimmung gemacht werden konnte, welche es höchst wahrscheinlich machte, dass ich es mit dem Kupfersalz der Asparaginsäure zu thun hatte: 0.203 Grm. bei 160° C. getrocknet gaben 0.0824 CuO = 0.0658 Cu = 32.42% Cu. Die Formel $C^4H^5CuNO^4$ verlangt 32.61% Cu.

Die Ausbeute war auf diesem Wege eine so geringe, weil die Verunreinigungen das Bleisalz der Asparaginsäure, welches ohnehin, wie ich mich durch Versuche mit reiner Asparaginsäure davon überzeugte, in Spiritus beträchtlich löslich ist, so bedeutend löslicher machen, dass auf diesem Wege an eine Isolirung derselben nicht zu denken war.

Es wurde der Alkohol daher aus dem Spiritusfiltrat abdestillirt, das Blei durch $H_2S$ entfernt, filtrirt, mit Thierkohle gereinigt und mit Kupferoxydhydrat gekocht.

Die dunkelblaue filtrirte Lösung, mit basisch essigsaurem Bleioxyd und etwas Ammoniak versetzt, gab einen reichlichen weissen Niederschlag (B), der nach einigen Stunden abfiltrirt werden konnte. Das blaue Filtrat entkupfert und entbleit schied, bis zur Syrupconsistenz eingedampft, eine beträchtliche Menge von Krystallen aus, die nach angestellten Reaktionen und der mikroskopischen Untersuchung sich als Leucinkugeln erwiesen.

Bei weiterem Eindampfen konnte aus der Mutterlauge des Niederschlages B durch Krystallisation nichts mehr gewonnen werden, daher wurde nach dem Reinigen durch Thierkohle dieselbe Procedur wie oben mit Kupferoxydhydrat und basisch-essigsaurem Bleioxyd wiederholt, wobei sich wieder ein ziemlich reichlicher Niederschlag (C) bildete. Das blaue Filtrat mit $H_2S$ behandelt zeigte auch nach monatelangem Stehen keine Neigung zur Krystallisation und erst bei sehr starkem Eindampfen wurde die Masse syrupdick, ein Zeichen, dass der grösste Theil der organischen Verbindungen entfernt war. Hier hatten sich die Aschenbestandtheile des Klebers, die Essigsäure und Ammoniak angehäuft.

Die Niederschläge B und C wurden mit Wasser zu einem Schlamme angerührt, mit $H_2S$ behandelt und mit der entkupferten Krystallisation A vereinigt, darauf durch Thierkohle zu einer fast farblosen Flüssigkeit entfärbt.

Zur weiteren Reinigung wurde die saure Lösung mit kohlensaurem Bleioxyd gekocht, filtrirt und durch möglichst wenig Spiritus gefällt. Hier trat, da die Substanz ziemlich frei von Verunreinigungen war, ein reichlicher weisser Niederschlag (D) ein, der neben wenig Glutaminsäure viel Asparaginsäure enthalten musste. Der Niederschlag wurde entbleit, nochmals durch Thierkohle entfärbt, eingedampft und die Asparaginsäure von der Glutaminsäure nach Ritthausen's Angabe (Journ. d. pract. Chemie Bd. 107 p. 222) durch 52procentigen Weingeist getrennt.

Die wässrige Lösung des in Weingeist unlöslichen Theils wurde mit wenig Thierkohle behandelt und zur Krystallisation hingestellt. Nach 48 Stunden war eine reichliche Menge Prismen (E) ausgeschieden. Der in Weingeist lösliche Theil eingedampft, schied ebenso nach einiger Zeit dieselben Prismen aus (F), die mit den früheren (E) vereinigt wurden.

Die Menge dieser Krystallisation betrug ca. 3 Grm. Sie wurde in Wasser gelöst, mit Kupferoxydhydrat behandelt und über Schwefelsäure gestellt. Nach 3 Tagen war die Flüssigkeit beinahe farblos geworden und eine grosse Menge hellblauer Nadeln sichtbar. Dieselben abfiltrirt, wurden zur Elementaranalyse benutzt.

Das entbleite Filtrat vom Niederschlag D mit den weingeistigen Abkochungen der Krystallisationen E und F vereinigt, wurde mit 52procentigem Weingeist behandelt, worin ein Theil unlöslich war. Dieser in Wasser gelöst, schied, wie auch diese weingeistige Abkochung, ebenfalls glänzende Prismen aus, die wieder vereinigt wurden (G). Auch diese Krystallisation G wurde in das Kupfersalz übergeführt und als solches zur Elementaranalyse benutzt, nachdem auch hier das Mikroskop die Gleichheit der ganzen Krystallmasse erwiesen hatte.

Die weingeistige Mutterlauge der Krystallisation (G) durch Destillation concentrirt und entfärbt, schied nach längerer Zeit glänzende Tetraëder von dem Aussehen der Glutaminsäure aus (H). Durch fraktionirte Krystallisation gelang es noch mehrere Male, diese Krystalle zu erhalten. Auch sie wurden vereinigt, die Lösung durch Thierkohle entfärbt, darauf mit Kupferoxyd gekocht und das herauskrystallisirte Kupfersalz zur Elementaranalyse aufgehoben. Die Mutterlauge der Krystallisation H reagirte noch ziemlich stark sauer, schied aber nichts mehr aus.

Das Kupfersalz aus den Krystallisationen E und F hatte ich in ziemlich grosser Menge (ca. 5 Grm.) erhalten, so dass mehrere Elementaranalysen und Stickstoffbestimmungen gemacht werden konnten. Die Resultate dieser Bestimmungen kamen den für das asparaginsaure Kupferoxyd berechneten Werthen sehr nahe. Auch das Kupfersalz der Krystallisation G hatte dieselbe Zusammensetzung.

### Wasserbestimmung des lufttrockenen Salzes.

0.326 Grm. lufttrockenes Salz bei 155° C.

0.0950 $H_2O$ = 29.1411 % $H_2O$.

0.433 „ „ „ bei 155° C.

0.1253 $H_2O$ = 28.9307 % $H_2O$.

Mittel = 29.0309 % Wasser.

Die Formel $C_4H_5CuNO_4 + 4^1/_2\,H_2O$ verlangt 29.33 % Wasser.

Zu jeder Elementaranalyse wurde das Salz bei 155° C. getrocknet, bis kein Gewichtsverlust mehr eintrat. Die Verbrennung wurde in bekannter Weise mit Kupferoxyd im Sauerstoffstrom vorgenommen, die abgewogene Substanz verbrannte im Platinschiffchen,

welches zur Bestimmung des Kupferoxyds nach der Verbrennung immer gewogen wurde.

1) 0.311 Grm. gaben 0.285 $CO_2$ = 0.0777 C und 0.0732 $H_2O$ = 0.0081 H und als Rückstand im Schiffchen 0.1273 CuO = 0.1016 Cu.

2) 0.401 Grm. gaben 0.3528 $CO_2$ = 0.962 C; 0.0998 $H_2O$ = 0.0111 H und 0.1663 CuO = 0.1326 Cu.

3) 0.452 Grm. aus der Krystallisation G gaben 0.3997 $CO_2$ = 0.109 C; 0.1159 $H_2O$ = 0.0129 H und 0.1818 CuO = 0.1452 Cu.

4) 0.211 Grm.[1]) gaben 0.0853 CuO = 0.0681 Cu.

5) 0.264 Grm. gaben 0.1414 Pt = 0.0199 N.

6) 0.395 Grm. gaben 0.208 Pt = 0.0294 N.

Aus diesen Analysen ergiebt sich die procentische Zusammensetzung des wasserfreien Salzes folgendermaassen:

| | gefunden: | | | | | | | Berechnet für asparaginsaures Kupfer: |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1. | 2. | 3. | 4. | 5. | 6. | Mittel | $C_4H_5CuNO_4$ |
| C | 24.98 | 23.99 | 24.11 | — | — | — | 24.36. | 24.69 C |
| H | 2.60 | 2.77 | 2.81 | — | — | — | 2.72. | 2.57 H |
| N | — | — | — | — | 7.53 | 7.44 | 7.48. | 7.2 N |
| Cu | 32.66 | 33.06 | 32.12 | 32.27 | — | — | 32.52. | 32.61 Cu |
| O | — | — | — | — | — | — | 32.92. | 32.93 O |
| | | | | | | | 100.00. | 100.00. |

Dass die fragliche Substanz Asparaginsäure war, ist nach diesen Analysen unzweifelhaft; dieselbe ist also entschieden auch im Organismus ein Uebergangsglied zwischen Eiweiss und Harnstoff und mit dem Fortschreiten der analytischen Methoden wird sie auch im Organismus selbst aufgefunden werden.

Was die glänzenden Tetraëder H, die sich aus der Mutterlauge der Krystallisation G ausschieden, betrifft, so konnte ich aus dem mir zu Gebote stehenden Material nur je eine Elementaranalyse und N-Bestimmung machen, da mir durch einen Unfall das zu

1) Bei dieser Bestimmung wurde die wässerige Lösung des Salzes mit $H_2S$ behandelt; das Schwefelkupfer durch $NO_5$ und HCl zersetzt und das CuO aus der sauren Lösung durch Kali gefällt als CuO gewogen.

einer zweiten Elementaranalyse zurückgelegte Material verloren ging; doch stimmen die gefundenen Werthe mit den für glutaminsaures Kupfer berechneten so gut überein, dass ich die Identität der fraglichen Substanz mit der Kupferverbindung der Glutaminsäure für erwiesen halte.[1])

1) 0.235 Grm. bei 150° C. getrocknet gaben 0.2465 $CO_2$ = 0.0672 C; 0.0806 $H_2O$ = 0.0089 H und 0.0872 CuO = 0.0696 Cu.

2) 0.202 Grm. bei 150° C. getrocknet gaben 0.1012 Pt = 0.0144 N.

| | Gefunden: 1. | Gefunden: 2. | Berechnet für glutaminsaures Kupfer: $C_5H_7CuNO_4$ |
|---|---|---|---|
| C | 28.59 | — | 28.79 C |
| H | 3.78 | — | 3.36 H |
| N | — | 7.13 | 6.71 N |
| Cu | 29.61 | — | 30.42 Cu |
| O | — | — | 30.72 O |

---

Schliesslich unterwarf ich auch die durch Alkohol abgeschiedenen Peptone einer näheren Untersuchung, weil ich erstens die Angabe Hupperts,[2]) dass die Peptone eine Gemisch von Leucin und Tyrosin seien, einer näheren Prüfung unterziehen wollte und dann noch Asparaginsäure aus denselben zu isoliren hoffte, doch waren meine in dieser Richtung angestellten Versuche vollständig vergeblich.

Nach mehrmaligem Reinigen mit Thierkohle wurden die Peptone mit Kupferoxydhydrat gekocht und filtrirt; aus der schmutzig graugrünen Flüssigkeit krystallisirte nach dem Concentriren auch nach Monate langem Stehen nichts heraus. Darauf wurde das Kupfer entfernt, das Filtrat mit Thierkohle behandelt und wieder mit Kupferoxydhydrat gekocht, filtrirt, mit basisch essigsaurem Bleioxyd und etwas Ammoniak versetzt. Es entstand ein bedeutender Nieder-

1) In einer eben erschienenen Arbeit (Pflügers Archiv Bd. IX, p. 438. 1874) erwähnt Dr. Kistjakowski, dass auch er bei der künstlichen Verdauung von Legumin durch die Pancreasdrüse Glutaminsäure gefunden hätte

2) Berichte der deutsch. chem. Gesellsch. Bd. VI, p. 1278. 1873.

schlag. Dieser sowohl, wie das Filtrat wurden mit $H_2S$ behandelt. In keinem Filtrat trat eine Krystallisation ein. Schliesslich wurden noch beide Partien getrennt mit kohlensaurem Bleioxyd und Spiritus behandelt; Fällungen traten wohl ein, doch gelang es mir auf keine Weise, dem Leucin, Tyrosin oder der Asparaginsäure ähnliche Körper zu isoliren. Merkwürdiger Weise geht Dr. Kistiakowski in seiner schon citirten Arbeit über die Charakteristik der Pancreaspeptone auf die Huppert'sche Angabe gar nicht ein.

# Untersuchungen über die Verunreinigung der Luft durch Abtrittgruben und über die Wirksamkeit der gebräuchlichsten Desinfektionsmittel.

Von

Dr. Friedrich Erismann.

Die Desinfection der menschlichen Exkremente spielt gegenwärtig eine grosse Rolle unter den Präventivmaassregeln gegen die Cholera. Es ist diess eine unmittelbare Folge der theoretischen Anschauung, dass sich entweder der Cholerakeim selbst oder einer der zu seiner Entstehung nothwendigen Faktoren in den Ausleerungen Cholerakranker befinde. Die Richtigkeit dieser Annahme vorausgesetzt, war es gewiss ein wohlberechtigtes Streben — Mittel zu finden, durch welche man das in den Exkrementen enthaltene schädliche Agens vernichten könnte. Da man aber das eigentliche Wesen desselben noch nicht kennt, so fehlte es von jeher an einem direkten Maassstabe für die Wirksamkeit der Desinfection, und man musste desshalb auf indirecte Weise dem in den Dejektionen vermutheten Gifte beizukommen versuchen. Indem man im Allgemeinen sich dasselbe in Form eines organisirten Gebildes vorstellte, dessen Entstehung und Vermehrung durch den Fäulnissprozess begünstigt werde, konnte man theoretisch auf verschiedenen Wegen dieser Gefahr zu begegnen versuchen. Am nächsten lag die Anwendung solcher Mittel, welche die Fäulniss der Exkremente überhaupt verhindern, die ursprüngliche saure Reaction derselben unterhalten und das in ihnen etwa vorhandene organische Leben vernichten konnten. Diesem Streben verdankt die Anwendung der Mineralsäuren, theilweise auch diejenige des Eisen- und Kupfervitriols, ihren Ursprung. Die Theersäuren werden ebenfalls als Zerstörerinnen der Lebensvorgänge derjenigen kleinen Organismen angewendet, deren Vorhandensein als integrirender Faktor des Fäulnissprozesses betrachtet wird.

Andere strebten danach die Fäulniss der Dejektionen zu beschleunigen, damit so rasch als möglich die organischen Substanzen zerstört und in die letzten, unschädlichen Endprodukte des Zersetzungsprozesses übergeführt würden: in dieser Absicht namentlich wendete man den Eisenvitriol an. Man weiss, dass bei Einbringung desselben in alkalische Flüssigkeiten sich sofort Eisenoxydhydrat niederschlägt, und dass dieses letztere, indem es an die vorhandenen organischen Verbindungen fortwährend Sauerstoff abgibt, aber zu gleicher Zeit entsprechende Quantitäten desselben aus der Luft wieder aufnimmt, eine energische Oxydation selbst sehr konstanter organischer Verbindungen herbeiführt, ohne dabei selbst seine oxydirende Kraft einzubüssen.

Noch Andere wandten auf die Desinfektion der Exkremente die Erfahrung an, dass alle Niederschläge, welche in gährenden Flüssigkeiten hervorgerufen werden, auch die Fermente mit sich niederreissen und die Gährung sistiren. In dieser Absicht wurden namentlich Thonerdesalze (Lenk'sche Flüssigkeit, A—B—Cprozess von Sillar etc.) zur Desinfektion verwandt; man bekommt dabei einen Niederschlag, der den grössten Theil der suspendirten Stoffe enthält, und darüber entsteht eine mehr oder weniger klare und geruchlose Flüssigkeit.

Dieser verschiedenen Desinfektionsmethoden bemächtigten sich nun Aerzte und auch andere Menschenfreunde, — namentlich aufgeklärte Stadtmagistrate, und es begann überall eine intensive Agitation zu Gunsten der Desinfektion, wodurch viele Städte veranlasst wurden, kolossale Geldsummen auszugeben. — Man muss leider sagen, dass die Desinfektionsfanatiker sich bei ihrer Agitation weder auf genügende experimentelle Untersuchungen stützen konnten, noch die Mittel in den Händen hatten, die Desinfektion faktisch in einer Weise durchzuführen, welche wenigstens die Sicherheit gegeben hätte, dass wirklich alle Exkremente, die sich in den Abtrittgruben vorfinden, in einen unschädlichen Zustand übergeführt werden.

Es hat auf uns immer einen eigenthümlichen, traurigen Eindruck gemacht, wenn wir sahen, wie die Geister sich erhitzten und die Gelder hinausgeworfen wurden für eine Sache, die in allen Beziehungen auf so schwachen Füssen steht; — auf schwachen Füssen, denn man weiss erstens nicht, ob der schädliche Stoff sich

in den Dejektionen findet, man weiss zweitens nicht, ob man ihn durch Desinfektion vernichten kann, und drittens ist eine wirksame Desinfektion — als Mittel den Cholerakeim zu vernichten — faktisch undurchführbar, weil sie immer mehr oder weniger von dem guten Willen und der Einsicht jedes Einzelnen abhängen wird, die Choleraepidemie aber vielleicht aus einem einzigen Keim, der zufällig nicht desinfizirt wurde, in furchtbarer Weise sich entwickeln kann, wenn sie die günstigen Bedingungen vorfindet.

Das Feuer für die Desinfektion als Präventivmittel gegen die Cholera lässt sich nur erklären durch die allgemeine menschliche Eigenschaft — sich durch Ereignisse, welche plötzlich und mit grosser Intensität auftreten, imponiren zu lassen. Die Cholera ist da, so und so viele hunderte oder Tausende erkranken und sterben, also muss man etwas dagegen thun. Da man nun aber leider gegenwärtig noch kein Mittel in der Hand hat, welches die Invasion der Cholera zu verhüten im Stande wäre, so desinfizirt man die verdächtigen Exkremente und beruhigt sich dabei. Aber diese Ruhe, in die sich Jeder einwiegt, nachdem er das vorgeschriebene Quantum Karbolsäure oder Eisenvitriol in den faulenden Inhalt der Abtrittgrube hinuntergeschüttet hat, betrachten wir als einen Feind des Fortschritts. Sie hindert es, dass einmal das Studium der Cholera selbst, ihrer Entstehungs- und Verbreitungsweise, mit der nöthigen Energie an die Hand genommen wird. Gäbe es nicht glücklicher Weise einige „unruhige“ Köpfe, so wäre auf dem europäischen Kontinent bis jetzt noch gar nichts in dieser Richtung geschehen.

Aber es gibt noch etwas viel Auffallenderes als die Ruhe, welcher man sich nach geschehener Desinfektion hinzugeben pflegt. Es ist die Apathie, welche man einem Feinde gegenüber zeigt, der viel schlimmer ist, als die Cholera, der uns aber nicht jählings überfällt, rasch seine Opfer fordert und dann wieder verschwindet, sondern — ganz im Gegensatz zur Cholera, — unbemerkt, ohne Lärm in unsre Mitte schleicht, und, ohne dass es uns auffällt, eine grosse Prozentzahl der Bevölkerung fortwährendem Siechthum aussetzt, die Sterblichkeitsziffer eines Ortes auf einer kolossalen Höhe erhält und die mittlere Lebensdauer der Bevölkerung erschreckend

verkürzt. Dieser Feind ist die chronische Vergiftung des Bodens auf dem wir unsre Häuser bauen und der Luft, welche wir einathmen. Diesem Feind haben wir viel mehr Krankheit und viel mehr Todesfälle zu verdanken, als der Cholera; es ist neben einer mangelhaften und fehlerhaften Ernährung eines grossen Theils der Bevölkerung, hauptsächlich seine Schuld, wenn die durchschnittliche Sterblichkeit der meisten grössern Städte des europäischen Kontinentes das schon seit dem Jahre 1848 in England geltende Normalmaximum der Sterblichkeit von 23 auf 1000 mehr oder weniger bedeutend übersteigt. Eine Sterblichkeit von 30 pro mille und darüber ist in den deutschen Städten durchaus nichts seltenes. Wir haben nach den Erfahrungen, die in dieser Beziehung in England gemacht worden sind, hinreichenden Grund anzunehmen, dass durch eine zweckmässigere Ernährung der Bevölkerung und durch bessere Wohnungsverhältnisse, namentlich aber durch Herstellung reinerer Luft in den Wohnräumen die grosse Sterblichkeit unserer Städte bedeutend herabgesetzt werden könnte. Nehmen wir eine Verminderung der Mortalität von 31 auf 23 pro mille für möglich an, so würden damit in einer Stadt von 100,000 Einwohnern jährlich 800 Menschen am Leben erhalten, — es sterben, mit anderen Worten, in einer solchen Stadt jährlich 800 Menschen zuviel. Cholera und Typhus müssten mit furchtbarer Intensität und in sehr kurzen Zwischenräumen epidemisch auftreten, wenn es ihnen gelingen sollte, die Sterblichkeit einer Ortschaft jährlich um 8 pro mille zu steigern.[1]) — Es ver-

---

1) Wie gering im Allgemeinen die Typhusmortalität der Gesammtmortalität gegenüber ist, geht sehr deutlich daraus hervor, dass in München, wo doch der Typhus endemisch ist, bei einer durchschnittlichen Gesammtmortalität von 33 pro mille, die Typhussterblichkeit in den Jahren 1852—1859 nur 2.4, und von 1860—1867 nur 1.66 pro mille betrug (siehe hierüber die Arbeit von Pettenkofer in der Deutschen Vierteljahrsschrift für öffentliche Gesundheitspflege VI. pag. 233). — Nach Zusammenstellungen, die Varrentrapp (Ueber Entwässerung der Städte Anlage VIII) gemacht hat, beträgt in 27 Städten die Gesammtmortalität im Durchschnitt 24 pro mille (schwankend zwischen 17.2 und 32.9), die Typhusmortalität dagegen nur 0.9 pro mille (schwankend zwischen 0.4 und 1.36). Aehnliches ergibt sich in Bezug auf die Städte des europäischen Kontinents. — Die Cholera ist bei uns noch viel weniger im Stande die Gesammtmortalität erheblich zu steigern, als der Typhus.

steht sich, dass wir hier nicht von einer bestimmten Krankheit sprechen, der jene 800 Menschen zum Opfer fallen, sondern von den täglich und stündlich sich wiederholenden Beleidigungen, denen der menschliche Organismus in unreiner Luft ausgesetzt ist, die seine Widerstandsfähigkeit gegen alle möglichen, direkt krank machenden Einflüsse herabsetzen und den einmal aufgetretenen Epidemien einen bösartigen Charakter verleihen.

Von dem Wunsche beseelt, in die Reihen der Kämpfer zu treten, gegen die unserm Organismus feindliche Vergiftung des Bodens und der Luft durch die menschlichen Exkremente, habe ich die folgenden experimentellen Untersuchungen gemacht. Dieselben haben erstens den Zweck, ein Bild davon zu geben, wie gross die Menge der Fäulnissgase ist, die den Abtrittgruben entsteigen und unsre Wohnungen verpesten; es war bis jetzt hierüber gar nichts bekannt und ich hielt es daher nicht für uninteressant, mit der Bearbeitung dieser Frage den Anfang zu machen. Zweitens wollte ich prüfen, in welcher Weise die Verderbniss der Luft durch die Anwendung verschiedener Desinfektions- und Desodorationsmittel gemildert werden kann.

Die Arbeit ist im hygienischen Laboratorium des Herrn Professor von Pettenkofer in München ausgeführt. Ich spreche meinem verehrten Lehrer den wärmsten Dank aus für die Liberalität, mit welcher er mir sein Laboratorium zur Verfügung stellte und für das persönliche Interesse, das er an meiner Arbeit bethätigte.

Meine ersten Versuche waren darauf gerichtet, zu erfahren, wie gross das Gewicht derjenigen hygienisch nicht gleichgültigen Substanzen ist, die von einer bestimmten Menge von Exkrementen in 24 Stunden der Luft übergeben werden. Man kann diesen Zweck erreichen, indem man über eine gewogene Menge von Exkrementen fortwährend einen leisen Luftstrom ziehen lässt, der gerade genügt, die an die Luft abgegebenen Substanzen beständig zu entfernen, und indem man die Exkremente nach Beendigung des Versuches wieder wägt. Hiebei muss selbstverständlich die Verdunstung des Wassers von der Oberfläche der Exkrementalmasse verhindert werden, denn, sobald Gelegenheit zur Wasserverdunstung gegeben ist, so würde dieselbe es unmöglich machen,

zu entscheiden, wie viel von dem täglichen Gewichtsverlust der Exkremente auf das abgegebene Wasser und wie viel auf die für uns interessanten Substanzen kommt. Man war berechtigt zu erwarten, dass es möglich sei die Wasserverdunstung von Seite der Exkremente zu verhindern, wenn man die Luft, welche über dieselben wegstreichen sollte, vorher mit Wasser vollständig sättigte. Es wurden desshalb zuerst Vorversuche in dieser Richtung angestellt. Die Anordnung dieser Versuche war folgende:

Ein etwa 250 Kubikctm. fassender Kolben, der 100 Kubikctm. Wasser enthielt, wurde mit einem zweifach durchbohrten Korkpfropfen verschlossen. Der letztere enthielt zwei Glasröhren, die beide auf 2—3 Ctm. in den Hals des Kolbens hineinragten und über dem äussern Ende des Pfropfes nach entgegengesetzten Seiten rechtwinklig abgebogen waren. Der luftdichte Verschluss des Pfropfes ward durch Siegellack erreicht; der Pfropf selbst hatte vorher eine Zeit lang im Wasser gelegen, um zu verhindern, dass er während des Versuchs Wasser aus der durch den Kolben streichenden Luft aufnehme. Der so zubereitete Kolben wurde unmittelbar vor Beginn des Versuchs und sofort nach Beendigung desselben auf einer feinen Waage gewogen. Den andauernden Luftstrom bewirkte ich theils durch Bunsen'sche Sauger, theils durch besondere Aspiratoren, die aus grossen, auf Liter kalibrirten Flaschen konstruirt waren. Zwischen den Bunsen'schen Saugapparat und den Kolben wurde eine Gasuhr eingeschoben, welche die angewandte Ventilationsgrösse zu bestimmen erlaubte. Die Sättigung der durch den Kolben streichenden Luft mit Wasserdampf suchte ich dadurch zu erreichen, dass ich einen Kolben vorlegte, der mit Wasser vollständig getränkten Bimsstein in kleinen Stücken enthielt; die Einrichtung war in der Weise getroffen, dass die angesaugte Luft, bevor sie in den Wasserkolben eintreten konnte, diese ganze Bimssteinschicht passiren musste. Die Versuche dauerten ununterbrochen circa 24 Stunden. Es erwies sich aber bald, dass ein einziger Bimssteinkolben nicht genüge, denn die Waage zeigte Tag für Tag eine Abnahme des Kolbengewichtes von 0.1—1.0 Gramm. Durch Vorlegen eines zweiten Kolbens konnte diese Abnahme bedeutend reduzirt werden, so dass sie im Tag nur zwischen 0 und

0.040 Gramm schwankte; vermittelst einiger fernerer Kautelen, — eine innerhalb gewisser Grenzen bleibende Ventilationsgrösse, ein gewisser Minimalabstand der Zu- und Ableitungsröhren von der Oberfläche des Wassers, ferner dadurch, dass ich sowohl den Wasserkolben, als die mit Bimsstein gefüllten Kolben in ein grosses Gefäss mit Wasser setzte, um der durchziehenden Luft eine gleichmässige Temperatur zu bewahren, brachte ich es nach zahlreichen Versuchen dahin, dass in längeren Reihen das Gewicht des Kolbens sich beinahe gleich blieb und jedenfalls die Schwankungen in der Gewichtsveränderung nicht allzugross waren. — Ich führe zwei solcher Versuchsreihen hier an:

I. Reihe.

| Versuchstage | Gewichtsabnahme des Kolbens in Grammen | Durchgeleitete Luft in Litern |
|---|---|---|
| 1. | 0.011 | 58 |
| 2. | 0.009 | 135 |
| 3. | 0.000 | 75 |
| 4. | 0.031 | 78 |
| 5. | 0.009 | 75 |
| 6. | 0.004 | 8 |
| | Im Mittel 0.011 Gramm | |

II. Reihe.

| Versuchstage | Gewichtsabnahme des Kolbens in Grammen | Durchgeleitete Luft in Litern |
|---|---|---|
| 1. | 0.013 | 18 |
| 2. | 0.007 | 27 |
| 3. | 0.000 | 27 |
| 4. | 0.000 | 30 |
| 5. | 0.009 | 36 |
| 6. | 0.005 | 28 |
| 7. | 0.001 | 29 |
| 8. | 0.000 | 18 |
| | Im Mittel 0.0044 Gramm | |

Alle nöthigen Kautelen vorausgesetzt, ist es also bei der oben angegebenen Anordnung des Versuchs möglich, einen continuirlichen Luftstrom über eine Flüssigkeitsoberfläche hinwegzuleiten, ohne dass von derselben erwähnenswerthe Mengen Wassers verdunsten. Dass der geringen Gewichtsabnahme, die nicht verhindert werden konnte, gegenüber den Zahlen, mit denen wir es beim Versuche mit den Exkrementen zu thun haben werden, keine Bedeutung zuzumessen ist, geht aus dem Folgenden hervor.

Ich wusste also jetzt, dass, wenn ich statt des Wasserkolbens einen Kolben mit Exkrementen einschob, die Gewichtsabnahme desselben mir die Summe der in der Versuchszeit in die Luft übergegangenen Substanzen anzeigen musste, ohne dass das Resultat des Versuchs durch Wasserverdunstung von der Oberfläche der Exkremente gestört wurde. — Um eine dem Inhalt der Abtrittgruben in Bezug auf die Zusammensetzung möglichst nahestehende Mischung zu erhalten, nahm ich nicht das bekannte Durchschnittsverhältniss von Koth und Urin in den täglichen Entleerungen eines Menschen (1 : 8). Der Inhalt der Abtrittgruben ist nämlich viel concentrirter, weil erstens sehr viel Harn niemals in die Gruben gelangt, während der Koth mit geringen Ausnahmen aller in dieselben entleert wird, und zweitens, weil aus den Gruben selbst viel Flüssigkeit theils verdunstet, theils vom Boden aufgenommen wird. Meine Mischung bestand in der Regel aus 100 Kubikctm. Harn und 30—35 Gramm Koth; also ein Verhältniss des Koths zum Harn wie 1 : 3. Diese Mischung war in Bezug auf ihre Consistenz dem Inhalte der Abtrittgruben sehr ähnlich. — Ich habe nun zu der folgenden Versuchsreihe noch zu bemerken, dass sie, wie sich nachher herausstellte, mit unnöthig starker Ventilation angestellt wurde, so dass bei späteren Experimenten viel geringere Luftquantitäten zur Ventilation des Kolbens verwendet wurden. Dieser Umstand thut übrigens dem, was die nächste Reihe zeigen soll, keinen Eintrag. Die in der Tabelle angegebenen Temperaturen bedeuten immer eine Mittelzahl aus zwei Beobachtungen. Die Versuchsdauer schwankte zwischen 22 und 24 Stunden; die Resultate sind auf 24 Stunden berechnet. Die Exkremente waren bei Beginn des Versuches ganz frisch.

Tabelle I.

| Versuchstag | Ventilations-Grösse in Litern | Temperatur | | Gewichtszunahme in Gramm | Gewichtsabnahme in Gramm |
|---|---|---|---|---|---|
| | | des Wassers, in dem die Kolben standen, nach Cels. | der Luft | | |
| 1. | 805 | 14.4 | 18.0 | 0.009 | — |
| 2. | 805 | 15.4 | 18.2 | 0.009 | — |
| 3. | 958 | 13.6 | 17.7 | 0.023 | — |

| Versuchs-tag | Ventilations-Grösse in Litern | Temperatur | | Gewichts-zunahme in Gramm | Gewichts-abnahme in Gramm |
|---|---|---|---|---|---|
| | | des Wassers, in dem die Kolben standen, nach Cels. | der Luft | | |
| 4. | 1160 | 16.1 | 17.2 | 0.105 | — |
| 5. | 1090 | 14.7 | 17.4 | 0.120 | — |
| 6. | 1083 | 14.0 | 17.6 | 0.079 | — |
| 7. | 831 | 13.8 | 17.5 | 0.115 | — |
| 8. | 785 | 14.8 | 17.5 | 0.020 | — |
| 9. | 915 | 15.8 | 18.9 | 0.030 | — |
| 10. | 875 | 16.8 | 20.0 | 0.014 | — |
| 11. | 656 | 15.2 | 18.7 | 0.025 | — |
| 12. | 1037 | 17.2 | 18.7 | — | 0.002 |
| 13. | 970 | 18.7 | 19.5 | — | 0.022 |
| 14. | 807 | 14.6 | 18.4 | 0.015 | — |
| 15. | 691 | 15.4 | 18.1 | 0.030 | — |
| 16. | 639 | 16.0 | 19.2 | — | 0.034 |
| 17. | 1146 | 15.9 | 19.2 | 0.102 | — |
| 18. | 858 | 15.4 | 19.9 | 0.028 | — |
| 19. | 858 | 15.4 | 19.9 | 0.028 | — |
| 20. | 857 | 17.1 | 20.5 | 0.083 | — |
| 21. | 857 | 17.1 | 20.5 | 0.083 | — |
| 22. | 1118 | 18.4 | 20.2 | 0.159 | — |
| 23. | 1148 | 19.2 | 21.2 | 0.102 | — |
| 24.—30. | je 1200 | — | — | je 0.083 | — |

Was zuerst an dieser mehr als 4wöchentlichen Reihe auffällt, ist die mit grosser Constanz auftretende Gewichtszunahme der Exkremente — statt der erwarteten Gewichtsabnahme. Da an eine Aufnahme von Wasser aus der darüber hinstreichenden Luft von Seite des dünnflüssigen Inhaltes des Kolbens schwerlich zu denken, eine solche auch bei den Vorversuchen nicht beobachtet worden war, so konnte diese Gewichtszunahme nur einer Sauerstoffaufnahme durch die Exkremente zugeschrieben werden. Dieselbe ist natürlich noch viel bedeutender, als durch die in der Tabelle unter der Rubrik „Gewichtszunahme" stehende Zahl, da ja die Exkremente zu gleicher Zeit eine, wie wir später sehen werden, nicht unbeträchtliche Quantität von Stoffen an die darüber wegstreichende Luft abgegeben hatten. Bei Berücksichtigung dieses Umstandes werden auch die auf den ersten Blick auffallend gross erscheinen-

den täglichen Schwankungen in der Gewichtszunahme sich weit geringer darstellen, denn wenn die im Experiment nicht zu Tage tretende Abgabe von Substanzen eine annähernd constante und im Verhältniss zu den die absolute Gewichtszunahme angebenden Zahlen bedeutender war, so bedingen auch grössere Schwankungen in den letzteren noch keine grossen Differenzen in der Gesammtsumme der Sauerstoffaufnahme.

Ich bemerke, dass jedenfalls auch an denjenigen Tagen, an welchen der Kolben eine Gewichtsabnahme zeigte, eine Aufnahme von Sauerstoff stattfand; dieselbe trat nur desshalb nicht als Gewichtszunahme in die Erscheinung, weil sie etwas geringer war als die Gewichtsmenge der in derselben Zeit abgegebenen Stoffe. Wir werden später sehen, dass bei Anwendung geringerer Ventilationsgrössen immer eine solche, wenn auch meist unbedeutende, Gewichtsabnahme beobachtet wird; es geht hieraus hervor, dass die Aufnahme so grosser Sauerstoffmengen, wie sie in der obigen Reihe stattfand, theilweise von der sehr starken Ventilation bedingt war. Weiter lassen sich aus der Tabelle keine Schlüsse ziehen, denn ein bestimmtes Abhängigkeitsverhältniss der Gewichtszunahme von den beobachteten Temperaturschwankungen oder von der Differenz in der variirenden Stärke der Luftbewegung lässt sich nicht erkennen.

Dass wenigstens ein grosser Theil der Gewichtszunahme auf Rechnung einer Sauerstoffaufnahme von Seite der Exkremente zu schreiben ist, suchte ich zu beweisen, indem ich statt atmosphärischer Luft ein indifferentes Gas über die Exkremente leitete. War die Voraussetzung einer Sauerstoffaufnahme richtig, so musste sich hiebei, wenn der Versuch unter übrigens gleichen Bedingungen angestellt wurde, wie die früheren Versuche, eine deutliche Gewichtsabnahme des Kolbens herausstellen. Als indifferentes Gas zur Ventilation des Kolbens wählte ich den Wasserstoff; nachdem derselbe auf gewöhnlichem Wege aus Zink und Salzsäure mit Wasserzusatz gewonnen war, liess ich ihn zur Reinigung von allfällig mitgerissener Salzsäure durch vorgelegte Kalilauge streichen, sammelte ihn sodann in einem Gasometer an und aspirirte ihn nun aus dem Gasometer vermittelst des Bunsen'schen Saugers. Die Ventilation

war bei diesen Versuchen ziemlich bedeutend: innerhalb zwei Stunden wurden durchschnittlich 27 Liter, also, auf 24 Stunden berechnet, 324 Liter Wasserstoff über die Exkremente hingeleitet. Vor der zweiten Wägung des Kolbens wurde der etwa in demselben verbliebene Wasserstoff durch einen kurzdauernden, kräftigen Luftstrom ausgetrieben. Die Versuche ergaben folgende Resultate:

Tabelle II.

| Versuch | Dauer des Versuchs | Aspirirte Wasserstoffmenge | Gewichts- | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Zunahme | Abnahme |
| 1. | $1^1/_2$ Stunde | 32.2 Liter | — | 0.029 Gramm |
| 2. | $1^1/_2$ | 24.8 | — | 0.021 |
| 3. | 2 | 20.2 | — | 0.020 |
| 4. | $2^1/_2$ | 24.5 | — | 0.019 |
| 5. | 2 | 24.3 | — | 0.039 |
| 6. | 2 | 26.7 | — | 0.038 |
| 7. | $1^3/_4$ | 26.0 | — | 0.013 |
| 8. | $1^3/_4$ | 28.5 | — | 0.019 |
| 9. | 2 | 20.4 | — | 0.031 |

Es fand also unter diesen Umständen jedesmal eine, für die kurze Zeitdauer der Versuche sehr bedeutende Gewichtsabnahme statt; dieselbe betrug im Mittel für 2 Stunden 0.027 Gramm, würde also, gleiche Bedingungen vorausgetetzt, in 24 Stunden 0.324 Gr. erreicht haben. — Alle diese Zahlen machen natürlich auf absolute Genauigkeit keinen Anspruch, da in der Anordnung der Versuche selbst Fehlerquellen gelegen waren, die sich nicht vermeiden liessen, die aber das Resultat verhältnissmässig wenig beeinflussen konnten. So war es z. B. höchst wahrscheinlich, dass das Wasserstoffgas im Gasometer trotz des Wasserverschlusses Sauerstoff durch Diffusion aufnahm. Ich wollte die Richtigkeit dieser Vermuthung prüfen und liess den Wasserstoff nach seinem Austritt aus dem Gasometer über Phosphor streichen. Das fortwährende Entstehen von weissen Dämpfen bewies die Oxydation des Phosphors zu Phosphorigsäureanhydrid, und da diese Erscheinung auch bei stundenlanger Beobachtung beständig fortdauerte, so war kein Zweifel mehr darüber

vorhanden, dass das Wasserstoffgas im Gasometer Sauerstoff durch Diffussion aufnahm. Dieser Sauerstoff wirkte jedoch nur insofern störend, als ohne ihn die Gewichtsabnahme des Kolbens natürlich noch grösser geworden wäre. — Ausserdem fand auch während das Wägens immer ein geringer Luftzutritt zu dem Inhalte des Kolbens statt, wodurch wiederum Gelegenheit zur Sauerstoffaufnahme gegeben war. Diese letztere Fehlerquelle wollte ich übrigens vermeiden und richtete zu diesem Zwecke den Versuch derart ein, dass der Kolben jedesmal vor und nach dem Versuch, mit Wasserstoff gefüllt und hermetisch verschlossen, gewogen werden konnte. Um zugleich mich zu überzeugen, wie sich in diesem Fall die Gewichtsabnahme des Kolbens zur Abgabe der Kohlensäure von Seite der Exkremente verhalte, bestimmte ich auch die letztere, indem ich die aus dem Kolben heraustretende Luft durch ein auf Oxalsäure (1 Kubikctm. Oxalsäure = 1 Milligramm Kohlensäure) eingestelltes Barytwasser gehen liess und dann nach Beendigung des Versuchs das Barytwasser mit derselben Oxalsäure rückwärts titrirte. Da vorauszusehen war, dass der Wasserstoff im Gasometer durch Diffusion auch Kohlensäure aufnahm, so liess ich das Gas vor seinem Eintritt in den Kolben erst durch Barytwasser gehen, um es von aller Kohlensäure zu befreien. Vor Beginn des Versuchs wurde die Luft nicht nur in dem Exkrementenkolben, sondern auch in den Bimssteinkolben und im ganzen Röhrensystem durch Wasserstoff ersetzt. Ich erhielt folgende Resultate:

Tabelle III.

| Versuch | Dauer des Versuchs in Stunden | Durchgetretener Wasserstoff in Litern | Gewichtsabnahme in Grammen | Abgegebene $CO_2$ in Grammen |
|---|---|---|---|---|
| 1. | 3 | 18 | 0.021 | 0.0186 |
| 2. | 5 | 18 | 0.021 | 0.0210 |
| 3. | 7 | 36 | 0.042 | 0.0303 |
| 4. | $5^1/_2$ | 36 | 0.027 | 0.0273 |

Man sieht, dass, mit einer einzigen Ausnahme, ebensoviel Kohlensäure abgegeben wurde, als die Gewichtsabnahme des Kol-

bens betrug. Da ich nun aus späteren Versuchen weiss, dass die von den Exkrementen abgegebene Kohlensäure etwa die Hälfte bis zwei Dritttheile aller der Stoffe beträgt, welche die Exkremente in derselben Zeit der Luft übergeben, so folgt daraus, dass mir auch in den obigen 4 Versuchen die Waage nicht die ganze Gewichtsabnahme anzeigte, welche die Exkremente während der Versuchsdauer erlitten haben mussten; dieselbe wurde theilweise verdeckt durch die Sauerstoffaufnahme, die auch hier nicht ganz zu verhindern war. Jedenfalls aber war sie äusserst beschränkt, und die zwei letzten Reihen, verglichen mit der ersten Tabelle, lassen keinen Zweifel daran übrig, dass die in der ersten Versuchsreihe beobachtete Gewichtszunahme durch Aufnahme von Sauerstoff aus der atmosphärischen Luft bedingt war.

Ich gehe nun zur Schilderung der Resultate über, welche ich bei der Bestimmung der einzelnen, von den Exkrementen abgegebenen Stoffe erhielt. Ich richtete hiebei meine Aufmerksamkeit auf die Abgabe von Kohlensäure, Ammoniak, Schwefelwasserstoff und organischen, kohlenstoffhaltigen Substanzen (Kohlenwasserstoffe, flüchtige Fettsäuren, organisirte Gebilde). Anfangs quälte ich mich längere Zeit damit ab, eine Methode zu finden, vermittelst welcher ich in demselben Versuche die von einer gewissen Menge Exkremente abgegebenen Quantitäten von Kohlensäure, Ammoniak und Schwefelwasserstoff bestimmen könnte. Ich glaubte dies zuerst durch Vorlegen einer Lösung von basisch-essigsaurem Blei zu erreichen, in welchem sich die Kohlensäure als kohlensaures Blei, das Ammoniak als essigsaures Ammoniak und der Schwefelwasserstoff als Schwefelblei bestimmen lassen sollten. Der Versuch gelang nicht, weil die Lösung des basisch-essigsauren Bleis beim Durchtreten der Luft in eminenter Weise zu schäumen anfing, so dass die Blasen sogar aus der Vorlage heraus in die Kautschukschläuche traten. Bei grosser Verdünnung der Lösung war das Schäumen geringer, aber schwache Lösungen konnte ich wegen der grossen Menge von Kohlensäure, die sich aus dem Kolben entwickelte, nicht anwenden. — Ich versuchte nun die drei genannten Gase in einer Röhre aufzufangen, die mit einer Mischung von Bleiacetat und Bleiglätte gefüllt war. Dieser Versuch gelang auch

wirklich, denn Controlversuche bewiesen, dass alle aus den Exkrementen entwickelte Kohlensäure, Ammoniak und Schwefelwasserstoff in dieser Röhre zurückgehalten wurden. Es braucht nicht besonders betont zu werden, dass die über den Exkrementen wegstreichende Luft in diesen und allen folgenden Versuchen von Kohlensäure vollständig befreit war.

Einen in der eben beschriebenen Weise angeordneten Versuch setzte ich 4 Tage lang fort. Während dieser Zeit gingen 2000 Liter Luft durch den Apparat. — Nach Beendigung des Versuchs wurde der Inhalt der Röhre sorgfältig mit destillirtem Wasser ausgespült und filtrirt. Auf dem Filter blieben Bleioxyd, kohlensaures Blei und Schwefelblei, — im Filtrat befanden sich gelöstes Bleiacetat und essigsaures Ammoniak. Aus dem Filtrat wurde durch Kochen mit Kalilauge und Ueberführen der entwickelten Ammoniakdämpfe in titrirte Schwefelsäure das Ammoniak bestimmt. Der Rückstand dagegen wurde getrocknet, gewogen und ein bestimmter Theil desselben zur quantitativen Analyse der Kohlensäure verwendet; dieselbe wurde durch Austreiben mit Salpetersäure aus dem Gewichtsverlust in dem dazu geeigneten Apparate bestimmt. Ein anderer Theil des Rückstandes wurde mit Essigsäure behandelt; hiebei lösten sich Bleioxyd und kohlensaures Blei, während Schwefelblei ungelöst blieb und für sich gewogen werden konnte. Aus dem Schwefelblei wurde dann die entsprechende Menge Schwefelwasserstoff nach den Aequivalentgewichten berechnet. — Das Resultat dieses Versuchs war folgendes: es wurden in 4 Tagen von 15 Gramm Koth und 50 Kubikctm. Harn abgegeben:

| | | |
|---|---|---|
| $CO_2$ | = 0.133 | Gramm |
| $NH_3$ | = 0.0423 | „ |
| $H_2S$ | = 0.0039 | „ |
| Im Ganzen | 0.1792 | Gramm |

Es ergab sich hieraus, dass die Menge des ausgeschiedenen Schwefelwasserstoffs sehr gering ist, so dass sie bei Versuchen von kürzerer Dauer und bei der weitläufigen Prozedur auf diesem Wege schwerlich genau bestimmt werden kann. Spätere Versuche zur quantitativen Bestimmung des Schwefelwasserstoffes, die ich sofort

schildern werde, zeigten mir, dass die Menge desselben gewöhnlich noch viel geringer ist als oben angegeben, so dass ich sogar bereit bin, einige Zweifel in die Richtigkeit des oben angeführten Resultates zu setzen. Jedenfalls wurde klar, dass es sich nicht lohnt, eine so weitläufige Prozedur täglich zu wiederholen nur der Möglichkeit halber, die drei Gasarten in einem und demselben Versuch zu bestimmen. Ich ging desshalb dazu über, nur die Kohlensäure und das Ammoniak in demselben Versuch zu bestimmen. Es geschah dies dadurch, dass die aus dem Exkrementenkolben tretende Luft zuerst durch eine Vorlage mit einer schwachen Schwefelsäure von bekanntem Gehalt und hernach durch titrirtes Barytwasser geleitet wurde. — Den Schwefelwasserstoff suchte ich für sich quantitativ auf verschiedene Weise zu bestimmen. Am bequemsten schien mir die von Mohr [1]) angegebene Methode mit einer alkalischen Lösung von arseniger Säure, die auf eine Jodlösung eingestellt war. Allein, wie oft ich auch diesen Versuch ansetzte, ich konnte niemals ein scharfes Ende der Reaktion erhalten und musste davon abstehen, diese Methode für meinen Zweck zu verwenden. — Ich probirte sodann einfach, die aus dem Exkrementenkolben austretende Luft direkt durch die Lösung der arsenigen Säure hindurchzuleiten, dann durch Salzsäure das Schwefelarsen auszuscheiden und gewichtsanalytisch zu bestimmen; allein die erhaltenen Mengen des Schwefelarsens waren so gering, dass sie nicht mit der nöthigen Sicherheit bestimmt werden konnten. — Auf Vorschlag des Professor von Pettenkofer benützte ich nun die in den Gasfabriken vielfach zur Anwendung gebrachte Erfahrung, dass frisches Eisenoxydhydrat sehr vollständig Schwefelwasserstoff bindet, wobei theilweise Schwefeleisen entsteht, theilweise aber der Schwefel sich in freiem Zustande ausscheidet. Um der durchtretenden Luft eine möglichst grosse Oberfläche darzubieten, ohne es mit allzugrossen Mengen des Eisenoxydhydrates zu thun zu haben, mischte ich dasselbe mit einer dem Gewichte nach gleichen, dem Volumen nach aber viel grösseren Menge von Sägespänen und füllte mit dieser Mischung eine Glasröhre, durch welche ich dann die aus dem Exkrementenkolben

---

1) Lehrbuch der Titrirmethode, 1871, I. Abtheilung, pag. 325.

austretende Luft leitete. Ich überzeugte mich davon, dass der Schwefelwasserstoff durch die Mischung wirklich vollständig zurückgehalten wurde, indem ich auf diese erste Röhre eine zweite folgen liess, in welcher sich ein Stück mit Bleiacetat getränkten Filtrirpapiers befand; niemals zeigte sich an demselben auch nur die Spur einer Bildung von Schwefelblei. — Nach Beendigung des Versuchs wurde die Mischung in einem Porzellantiegel mit Kalilauge befeuchtet und nun vorsichtig verbrannt. Die Asche, in welcher der Schwefel in Form schwefelsaurer Salze vorhanden war, wurde, soweit sie löslich war, mit wenig Salzsäure gelöst, dann mit Wasser verdünnt, filtrirt, mit Chlorbarium versetzt und der entstandene schwefelsaure Baryt getrocknet und gewogen. Aus der Menge desselben konnte leicht die vorhandene Menge des Schwefels und die entsprechende Quantität Schwefelwasserstoff berechnet werden. Ich bemerke hier, dass ich bei der Filtration der in Salzsäure gelösten Asche äusserst vorsichtig verfuhr, um womöglich keine Spur von dem rückständigen Eisenoxyd auf's Filter zu bekommen, weil dasselbe so fein vertheilt war, dass es sogar das Filter passiren konnte. Zu diesem Zwecke liess ich immer den Rückstand sich auf dem Grunde des Tiegels vollständig setzen und goss nur die darüberstehende klare Flüssigkeit in das Filter; natürlich musste hiebei der Rückstand einigemal mit Wasser ausgewaschen werden, um nichts zu verlieren. Um nun aber den Fehler zu vermeiden, der durch die in den Sägespänen jedenfalls enthaltenen Schwefelverbindungen entstehen musste, verbrannte ich ganz gleiche Mengen der Mischung von Sägespänen und Eisenoxydhydrat, wie ich sie zum Versuch anwandte, und bestimmte den darin enthaltenen Schwefel. Ich erhielt in 2 Versuchen das einemal 0.0180 Gramm schwefelsauren Baryt, das anderemal 0.021 Gramm, also im Mittel 0.0195 Gramm. — Es zeigte sich übrigens nach einigen Versuchen, dass die Abgabe von Schwefelwasserstoff wirklich eine äusserst geringe ist, so dass ich später bei Prüfung der Wirkung der verschiedenen Desinfektionsmittel den Schwefelwasserstoff nur noch qualitativ berücksichtigte.

Was nun die verschiedenen organischen Substanzen anbetrifft, die gewiss sehr viel zu dem spezifischen Gestank faulender Exkre-

mente beitragen, so dachte ich anfänglich dieselben vermittelst Kaliumpermanganat wenigstens annähernd bestimmen zu können. Ich leitete also die aus dem Exkrementenkolben austretende Luft in destillirtes Wasser ein und hoffte dann mit einer auf Oxalsäure eingestellten Chamäleonlösung nach der von Kubel beschriebenen Methode einen interessanten Aufschluss über die Menge der abgegebenen organischen Substanzen zu erhalten. Diese Versuche wurden oft wiederholt, sie ergaben aber immer so geringe Resultalte, dass ich die Ueberzeugung gewann, die weitaus grösste Mehrzahl der organischen Stoffe gehe entweder ganz ruhig mit den Luftblasen durch das zu ihrem Auffangen bestimmte Wasser hindurch, oder wirke nicht reduzirend auf die Chamäleonlösung. Wie wir später sehen werden, erwies sich diese Anschauung als richtig.

Um aber doch die kohlenstoffhaltigen, organischen Verbindungen, welche von den Exkrementen abgegeben werden, bestimmen zu können, schlug ich nach dem Rathe des Herrn Professor von Pettenkofer folgenden Weg ein: Ich verbrannte die aus dem Exkrementenkolben austretende Luft, indem ich sie über glühendes Kupferoxyd leitete, und fing die aus der Verbrennung des gesammten Kohlenstoffes gebildete Kohlensäure in titrirtem Barytwasser auf. Um nun aber die aus der Verbrennung der organischen Substanzen entstandene Kohlensäure von der ursprünglich als solche von den Exkrementen abgegebenen Kohlensäure unterscheiden und beide Arten von Kohlensäure für sich bestimmen zu können, traf ich folgende Anordnung des Versuchs:

Der Kolben mit den Exkrementen erhielt einen Kautschukpfropf mit dreifacher Bohrung. Durch eine in der mittleren Bohrung befindliche und fast bis auf die Exkremente hinunterreichende Glasröhre wurde die vorher durch Barytwasser von aller Kohlensäure befreite äussere Luft in den Kolben geleitet. Durch zwei Glasröhren, die sich in den seitlichen Bohrungen befanden, trat die Luft wieder aus und zwar in verschiedenen Richtungen: auf der einen Seite ging sie erst in einen Kolben mit Schwefelsäure, wo sie ihr Ammoniak abgeben konnte und von da direkt in vorgelegtes Barytwasser, so dass also hier Gelegenheit gegeben war zur Bestimmung der von den Exkrementen als solcher abgegebenen

Kohlensäure; nach der andern Seite wurde die Luft durch die im Verbrennungsofen befindliche Röhre mit Kupferoxyd geleitet, und erst nachdem hier alles Verbrennliche verbrannt war, gelangte die Luft auf dieser Seite ebenfalls in Barytwasser. Dass hiebei der Titre dieses Barytwassers nicht etwa durch hinübergetretenes Ammoniak verändert wurde, constatirte ich durch ein zwischen Verbrennungsröhre und Barytröhre eingelegtes Kurkumapapier: dasselbe zeigte niemals auch nur eine Spur von alkalischer Reaktion, — es wurde folglich das Ammoniak in der Röhre vollständig verbrannt. — Nach beiden Seiten hin wurde die Luft durch Flaschenaspiratoren aspirirt, bei denen man das Auslaufen des Wassers so reguliren konnte, dass in gleichen Zeiten absolut gleichviel Liter Wasser ausliefen, so dass also auch nach beiden Seiten hin gleichviel Luft aus dem Exkrementenkolben aspirirt wurde. Um dennoch ganz sicher zu sein, dass auch die von den Exkrementen abgegebenen Gase nach beiden Seiten hin gleichmässig vertheilt werden, — was zum Gelingen des Versuchs unbedingt erforderlich war, — stellte ich einige Controlversuche hierüber an, indem ich die über die Exkremente hingestrichene Luft, ohne sie zu verbrennen, nach beiden Seiten hin aspirirte. Ich führe hier die Resultate zweier solcher Controlversuche an:

a.

Durch den Aspirator jederseits 30 Liter Luft angesogen. Dauer des Versuchs 8 Stunden; gefunden

auf der einen Seite 14.1 Milligramm $CO_2$
„ „ andern „ 14.4 „ „

b.

Dieselben Bedingungen; gefunden

auf der einen Seite 25.5 Milligramm $CO_2$
„ „ andern „ 25.8 „ „

Die genaue Uebereinstimmung der auf beiden Seiten erhaltenen Kohlensäuremengen lässt keinen Zweifel darüber aufkommen, dass diese Methode der Luftanalyse sehr exakt ist und volles Vertrauen verdient. Die Berechnung der bei den Versuchen mit den Exkrementen aus der Verbrennung erhaltenen Kohlensäure ist einfach: auf der einen Seite hat man im Barytwasser aufgefangen

blos die Hälfte der als solche abgegebenen Kohlensäure, auf der Seite des Verbrennungsofens dagegen hat man 1) die andere Hälfte dieser Kohlensäure und 2) diejenige Kohlensäure, welche aus der Verbrennung der Hälfte der von den Exkrementen abgegebenen organischen Substanzen entstanden ist. Der Unterschied im Titre des Barytwassers auf beiden Seiten ergibt nun das plus von Kohlensäure, das aus der Verbrennung entstanden ist; da man aber nur die Hälfte der Luft verbrannt hat, so muss man diese Zahl mit 2 multipliziren, um diejenige Kohlensäuremenge zu erhalten, welche aus der Verbrennung der gesammten Ventilationsluft entstanden wäre.

Ich will nun, ohne noch weitere Details der Versuche zu erwähnen, die Resultate derselben in Bezug auf die unter verschiedenen Verhältnissen abgegebenen Mengen der einzelnen Stoffe tabellarisch geordnet anführen. Die grosse Anzahl der Versuche wird uns dann erlauben Durchschnittszahlen zu finden, welche wir der Berechnung der Abgabe dieser Stoffe von Seite ganzer Abtrittgruben zu Grunde legen können.

Zuerst will ich eine Versuchsreihe anführen, welche darüber entscheiden sollte, in wie weit sich die Abgabe von Kohlensäure und Ammoniak vom ersten Tage der Entleerung der Exkremente an im Laufe der nächsten drei Wochen ändert. Als der Versuch begann, waren die Exkremente 2 Stunden alt; es wurden verwendet 100 Kubikctm. Harn und 33 Gramm Koth.

## Tabelle IV.

| Versuchstag | Versuchsdauer in Stunden | Liter Luft durchgegangen | Temperatur | $CO_2$ abgegeben | $NH_3$ abgegeben | In 24 Stunden abgegeben | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | $CO_2$ | $NH_3$ |
| 1. | 23 | 60 | schwankt zwischen 12 und 17° Cels. | 0.0555 | 0.0060 | 0.0580 | 0.0063 |
| 2. | 23 | 60 | | 0.0597 | 0.0097 | 0.0628 | 0.0101 |
| 3. | 23 | 70 | | 0.0564 | 0.0154 | 0.0588 | 0.0160 |
| 4. | 21 | 300 | | 0.0591 | 0.0282 | 0.0675 | 0.0322 |
| 5. | 27 | 120 | | 0.0624 | 0.0154 | 0.0555 | 0.0137 |
| 6. | 20 | 110 | | 0.0468 | 0.0132 | 0.0562 | 0.0158 |
| 7. | 23 | 100 | | 0.0540 | 0.0136 | 0.0564 | 0.0142 |

| Versuchstag | Versuchsdauer in Stunden | Liter Luft durchgegangen | Temperatur | $CO_2$ abgegeben | $NH_3$ abgegeben | In 24 Stunden abgegeben | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | $CO_2$ | $NH_3$ |
| 8. | 26 | 110 | schwankt zwischen 12 und 17° Cels. | 0.0549 | 0.0145 | 0.0507 | 0.0134 |
| 9. | 18 | 70 | | 0.0396 | 0.0078 | 0.0528 | 0.0097 |
| 10. | 23 | 130 | | 0.0687 | 0.0141 | 0.0717 | 0.0147 |
| 11. | 23 | 135 | | 0.0540 | 0.0141 | 0.0564 | 0.0147 |
| 12. | 23 | 85 | | 0.0468 | 0.0088 | 0.0488 | 0.0092 |
| 13. | 22 | 105 | | 0.0489 | 0.0101 | 0.0533 | 0.0110 |
| 14. | 23 | 90 | | 0.0513 | 0.0077 | 0.0535 | 0.0080 |
| 15. | 20 | 62 | | 0.0444 | 0.0070 | 0.0533 | 0.0084 |
| 16. | 46 | 65 | | 0.1212 | 0.0055 | 0.0632 | 0.0029 |
| 17. | 22 | 88 | 25—27 | 0.1878 | 0.0306 | 0.2049 | 0.0334 |
| 18. | 24 | 67 | 26 | 0.2064 | 0.0220 | 0.2064 | 0.0220 |
| 19. | 22 | 25 | 13 | 0.0654 | 0.0022 | 0.0713 | 0.0024 |
| 20. | 23 | 70 | 12 | 0.0858 | 0.0060 | 0.0895 | 0.0063 |

Aus dieser Tabelle lässt sich der Schluss ziehen, dass innerhalb der ersten 3 Wochen nach der Entleerung der Exkremente die täglich abgegebene Kohlensäuremenge unter gleich bleibenden Bedingungen sehr annähernd constant bleibt, und dass dasselbe, mit wenigen Ausnahmen, in Bezug auf die Abgabe des Ammoniaks der Fall ist; es findet also keine Steigerung in der Abgabe dieser Gase statt. — Die Schwankungen in der Ventilation zeigten sich innerhalb der angewandten Ventilationsgrössen von sehr geringem Einfluss; doch ist bei stärkerer Ventilation im Allgemeinen eine Neigung zu grösserer Abgabe von Kohlensäure und Ammoniak bemerkbar; dies erklärt sich dadurch, dass bei rascher Wegführung der in die Atmosphäre des Kolbens abgegebenen Gase der Partialdruck derselben über den Exkrementen sehr niedrig gehalten wird.

Von grossem Einfluss zeigte sich die Steigerung der Temperatur: als während zweier Tage die Temperatur des Exkrementenkolbens künstlich gesteigert wurde, ergab sich die dreifache Menge Kohlensäure und die 2—3fache Menge Ammoniak. Dieser Mehrabgabe scheint aber nur theilweise auch eine Mehrbildung der betreffenden Gase entsprochen zu haben, denn als die Temperatur

wieder auf die frühere Höhe zurückkehrte, sank wenigstens die Ammoniakabgabe weit unter das Durchschnittsmaass.

Der geringe Einfluss der Schwankungen in der Ventilation in der obigen Tabelle steht nicht vereinzelt da; es lassen sich aus meinen Versuchsreihen auch noch andere Beispiele dafür anführen. So z. B. ergab ein 6 Wochen alter Kolben bei 118 Liter Ventilation in 24 Std. 0.088 Gr. Kohlensäure, bei 38 Liter — 0.055 Gr. Eine Abnahme der Ventilation um 68% ergab in einem andern Falle nur eine Abnahme der Kohlensäure um 37%; ferner, ein 4 Tage alter Kolben ergab bei 125 Liter Ventilation in 24 Std. 0.0866 Gr. Kohlensäure, bei 62.5 Liter — 0.0665 Gr., also hatte eine Abnahme der Ventilation um 50% nur eine Verminderung der Kohlensäureabgabe um 23.2% zur Folge. — Dieser geringe Einfluss der Ventilationsschwankungen erklärt sich von selbst, wenn wir für die angegebenen Grössen der Ventilation die Geschwindigkeit der Luft über den Exkrementen berechnen. Diese Berechnung kann zwar selbstverständlich nur eine approximative sein, da ja im Kolben über den Exkrementen eine über den ganzen Querschnitt gleichmässig verbreitete Strömung der Luft nicht statt hat; eine ungefähre Vorstellung von der Geschwindigkeit der Luftbewegung im Kolben wird sie aber doch geben. — Das Mittel aus den in der Tabelle IV angeführten Ventilationsgrössen ist = 96 Liter in 24 Stunden. Die Oberfläche der Exkremente betrug, entsprechend der Grösse der angewandten Kolben, circa 40 Quadratcentim. Daraus berechnet sich eine Luftgeschwindigkeit von 0.028 Cm. in der Sekunde; für die bedeutendste Ventilationsgrösse von 300 Litern ergibt sich eine Geschwindigkeit von 0.087 Cm., für die schwächste Ventilationsgrösse (25 Liter) — nur 0.0072 Cm. — Es ist nun klar, dass Schwankungen so geringer absoluter Grössen keinen bedeutenden Einfluss haben können. Sie reichen gerade hin, die Spannung des Gases im Kolben ein bischen zu verändern und dem entsprechend den Uebergang desselben in die Luft etwas zu erschweren oder zu erleichtern.

In einer folgenden Tabelle will ich nun die bei einer Reihe von Versuchen unter verschiedenen Umständen in 24 Stunden abgegebenen Kohlensäuremengen zusammenstellen, um einen Durch-

schnittswerth für diese Grösse zu bekommen. Die Tabelle enthält übrigens, der Vereinfachung halber, nicht alle einzelnen Versuche, sondern nur die Mittelzahlen aus den mit jedem Kolben angestellten Beobachtungen. Die zu all diesen Versuchen angewandten Exkrementalmassen bestanden aus 100 Kubikcentimeter Harn und 33—36 Gramm Koth.

Tabelle V.

| Nro. | Zahl der Versuche | Alter d. Exkremente | Durchschnittliche Abgabe von $CO_2$ in 24 Stunden |
|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 1 Tag | 0.0391 Gramm |
| 2 | 1 | 1 „ | 0.0590 „ |
| 3 | 2 | 1—2 „ | 0.0798 „ |
| 4 | 20 | 1—20 „ | 0.0745 „ |
| 5 | 3 | 2—4 „ | 0.0541 „ |
| 6 | 1 | 2 „ | 0.0839 „ |
| 7 | 1 | 4 „ | 0.0605 „ |
| 8 | 5 | 4—9 „ | 0.0714 „ |
| 9 | 1 | 8 „ | 0.0680 „ |
| 10 | 2 | 8—9 „ | 0.0967 „ |
| 11 | 2 | 8—9 „ | 0.1435 „ |
| 12 | 1 | 14 „ | 0.0784 „ |
| 13 | 1 | 14 „ | 0.1627 „ |
| 14 | 3 | 21—24 „ | 0.1170 „ |
| 15 | 2 | 6 Wochen | 0.0715 „ |
| | | | Im Mittel 0.0836 Gramm |

Da die in dieser Tabelle aufgeführten Kohlensäuremengen einer grossen Zahl von Versuchen entsprechen, die bei den verschiedensten Temperaturen, verschiedener Luftbewegung und mit Exkrementen verschiedensten Alters angestellt sind, so darf man wohl das daraus resultirende Mittel als eine der Wahrheit nahekommende Durchschnittszahl für die Kohlensäureabgabe von 135 Gramm Exkrementen ansehen und danach berechnen, wie viel durchschnittlich eine Abtrittgrube von bestimmten Dimensionen an Kohlensäure in 24 Stunden abgibt. Nehmen wir an, dieselbe sei 3 Meter im Quadrat und bis auf 2 Meter Höhe mit Exkrementen gefüllt, so haben wir eine Masse faulender Exkremente verschiedenen Alters von 18 Kubikmeter. Nehmen wir zur Erleichterung der Berechnung an, das spezifische Gewicht des Kothes sei gleich

demjenigen des Harnes, so ergibt sich für diese Exkrementenmasse, unter Berücksichtigung der Durchschnittszahl von 0.0836 Grm. für je 135 Kubikctm. Exkremente eine 24stündige Kohlensäureabgabe von 11144 Gramm = **11.144** Kilogramm.

In gleicher Weise wie für die Kohlensäure werden wir auch für die Ammoniakabgabe eine Tabelle construiren, aus welcher sich eine Durchschnittszahl für die 24stündige Abgabe dieses Gases ergeben soll. Die Zahlen beziehen sich auf die nämliche Menge von Exkrementen, wie diejenigen der Tabelle V.

Tabelle VI.

| Nro. | Zahl der Versuche | Alter d. Exkremente | Durchschnittliche Abgabe von $NH_3$ in 24 Stunden |
|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 1 Tag | 0.0065 Gramm |
| 2 | 1 | 1 „ | 0.0048 „ |
| 3 | 2 | 1—2 „ | 0.0200 „ |
| 4 | 20 | 1—20 „ | 0 0132 „ |
| 5 | 3 | 2—4 „ | 0.0079 „ |
| 6 | 1 | 2 „ | 0.0342 „ |
| 7 | 1 | 4 „ | 0.0301 „ |
| 8 | 3 | 4—7 „ | 0.0085 „ |
| 9 | 1 | 8 „ | 0.0048 „ |
| 10 | 2 | 8—9 „ | 0.0068 „ |
| 11 | 1 | 8 „ | 0.0345 „ |
| 12 | 1 | 14 „ | 0.0210 „ |
| 13 | 1 | 14 „ | 0.0114 „ |
| 14 | 3 | 21—24 „ | 0.0221 „ |
| 15 | 1 | 6 Wochen | 0.0031 „ |
| | | | Im Mittel 0.0153 Gramm |

Auch diese Zahl darf wohl mit Recht als ein Durchschnittswerth betrachtet werden, da sie aus Versuchen gewonnen ist, die unter den verschiedensten Verhältnissen angestellt waren. Eine Abtrittgrube, welche eine Exkrementenmasse von 18 Kubikmeter enthält, würde demnach 2040 Grm. Ammoniak, d. h. **2.04** Kilogramm in 24 Stunden an die Luft abgeben.

Was den Schwefelwasserstoff betrifft, so habe ich schon angeführt, dass die Quantität desselben sehr gering ist. Ueberhaupt ist seine Abgabe äusserst schwankend; er konnte oft bei Exkrementen

in den verschiedensten Altersstadien nicht einmal qualitativ nachgewiesen werden; anderemale wieder war die Reaktion sehr stark. Im Allgemeinen schien es mir, als ob frische Exkremente der Luft am meisten Schwefelwasserstoff mittheilten. Ohne Zweifel ist auch die Art der aufgenommenen Nahrung von Einfluss auf die Entwicklung von Schwefelwasserstoff aus den Exkrementen. Dies scheint uns auch aus den Untersuchungen von Planer hervorzugehen, der bekanntlich im Dickdarm des Hundes bei Fleischnahrung geringe Mengen von Schwefelwasserstoffgas fand, während er bei Fütterung des Hundes mit Hülsenfrüchten im Dickdarm keine Spur von Schwefelwasserstoff constatiren konnte. — Ich führe im Folgenden die Resultate zweier qantitativer Versuche an, die ich für zuververlässig halte. Dieselben sind auf dem oben beschriebenen Wege der Absorption des Schwefelwasserstoffes vermittelst Eisenoxydhydrates gewonnen.

| | | |
|---|---|---|
| 1) ganz frischer Kolben gibt in 24 Stunden | . . . | 0.00022 Grm. $H_2S$ |
| 2) zwei Tage alter Kolben „ „ „ „ | . . . | 0.000278 „ „ |
| | Im Mittel | 0.00025 Grm. $H_2S$ |

Dem entsprechend würde eine Exkrementenmasse von 18 Kubikmeter in 24 Stunden nur 33.3 Gramm Schwefelwasserstoff abgeben.

Die Bestimmung der kohlenstoffhaltigen organischen Substanzen ergab ein viel bedeutenderes Resultat, als ich erwartet hatte. Da die Analyse selbst nur das plus von Kohlensäure gibt, das aus der Verbrennung dieser meist sehr übelriechenden Substanzen entsteht, über die Natur derselben aber nichts aussagt, und da sich unter ihnen jedenfalls Stoffe von der verschiedensten Zusammensetzung (Kohlenwasserstoffe mit sehr verschiedenem Kohlenstoffgehalt, mehrere Glieder aus der Reihe der fetten Säuren, wahrscheinlich auch organisirte Gebilde) befinden, so ist es nicht möglich, blos aus dem gewonnenen Kohlenstoff ein Bild von der Quantität zu bekommen, in welcher diese Substanzen einzeln der Luft mitgetheilt werden. Am einfachsten wird es sein, wenn wir den aus der Verbrennung erhaltenen Kohlenstoff auf den einfachsten der Kohlenwasserstoffe, das Sumpfgas ($CH_4$) berechnen. — In der folgenden Tabelle sind die aus zahlreichen Verbrennungen gewonnenen Resultate mitge-

theilt. Ich bemerke hiezu, dass die hiebei verwendete Masse von Exkrementen mit Ausnahme von Nr. 5 und 7 etwas grösser war als bei den übrigen Versuchen, nämlich 125 Cc. Harn und 40—45 Gr. Koth. Das relative Verhältniss der flüssigen und festen Exkremente war übrigens, wie man sieht, dabei dasselbe geblieben, Die Dauer der Versuche war 8—10 Stunden; die Ventilation schwankte zwichen 28 und 36 Liter beiderseits und war jedesmal auf beiden Seiten vollkommen gleich.

Tabelle VII.

| Nro. des Kolbens | Nro. des Versuchs | Alter der Exkremente | Versuchsdauer in Stunden | C aus der Verbrennung erhalten (in Grammen) | Daraus berechnet $CH_4$ | Abgabe von $CH_4$ in 24 Stdn. (in Grammen) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 6 Tage | 10 | 0.0350 | 0.0467 | 0.1121 |
| 2 | 1 | 4 „ | 10 | 0.0102 | 0.0186 | 0.0326 |
| | 2 | 6 „ | 10 | 0.0170 | 0.0227 | 0.0545 |
| 3 | 1 | 1 „ | 9 | 0.0167 | 0.0223 | 0.0595 |
| 4 | 1 | 4 „ | 9 | 0.0208 | 0.0277 | 0.0665 |
| 5 | 1 | 1 „ | 9 | 0.0090 | 0.0120 | 0.0320 |
| | 2 | 19 „ | 9 | 0.0144 | 0.0192 | 0.0512 |
| | 3 | 21 „ | 8 | 0.0114 | 0.0152 | 0.0456 |
| 6 | 1 | 8 „ | 8 | 0.0285 | 0.0380 | 0.1140 |
| | 2 | 13 „ | 8 | 0.0142 | 0.0189 | 0.0567 |
| 7 | 1 | 21 „ | 8 | 0.0149 | 0.0198 | 0.0594 |
| | | | | | Im Mittel | 0.0622 Grm. $CH_4$ |

Da die zu den Versuchen verwendeten Kolben theils 165—170, theils nur 135 Gr. Exkremente enthielten, so nehmen wir als runde Durchschnittssumme 150 Gr. Exkremente an und sehen, dass dieselben in 24 Stunden im Mittel 0.0622 Gr. Kohlenwasserstoffe, Fettsäuren etc. — überhaupt übelriechender organischer Substanzen — abgeben. Für eine Exkrementenmasse von 18 Kubikmeter berechnet sich demgemäss eine 24stündige Abgabe solcher Substanzen von 7464 Gr. = **7.464** Kilogramm. — Ich bemerke noch, dass die Verbrennung der über die Exkremente hinstreichenden Luft einen sehr deutlichen Einfluss auf den Geruch derselben ausübt. Während nämlich auf der Seite, wo die Luft nicht verbrannt wurde,

das Barytwasser, durch welches sie zog, einen sehr deutlichen, oft sogar intensiven Fäkalgeruch zeigte, war in dem Barytwasser der anderen Seite niemals eine Spur von Geruch zu bemerken.

Wie wenig die Bestimmung durch Kaliumpermanganat im Stande war, diese grossen Mengen kohlenstoffhaltiger organischer Substanz auch nur annähernd anzugeben, geht aus folgenden Zahlen hervor, welche die Resultate einiger mit Chamäleon angestellten Versuche ausdrücken, d. h. die Mengen der in 24 Stunden abgegebenen, durch Chamäleon oxydirbaren Substanz.

Tabelle VIII.

| Kolben | Alter der Exkremente | Organische Substanz |
|---|---|---|
| 1 | 5 Tage | 0.0030 Gramm |
| 2 | 6 Wochen | 0.0024 " |
| 3 | 8 Tage | 0.0035 " |
| 4 | " | 0.0020 " |
| 5 | 14 " | 0.0028 " |
| | Im Mittel | 0.0027 Gramm org. Substanz |

Demgemäss würde man von einer Exkrementenmasse von 18 Kubikmeter in 24 Stunden nur 360 Grm. organischer Substanz erhalten, also nur den zwanzigsten Theil der durch Verbrennung zu constatirenden Menge.

Etwas mehr organische Substanz erhält man, wenn man die aus dem Exkrementenkolben austretende Luft durch einen Kolben leitet, der sich in einer Kältemischung befindet. Ich habe einen solchen Versuch 6 Stunden lang fortgesetzt, in dieser Zeit 90 Liter Luft über die Exkremente weggeleitet und hernach in dem condensirten Wasser 0.0018 Gramm durch Chamäleon oxydirbarer Substanz gefunden. Das macht in 24 Std. 0.0072 Grm.; und würde man von 18 Kubikmeter Exkrementen auf diese Weise im Tag 960 Grm. organischer Substanz erhalten. — Ein anderer Versuch mit Kältemischung, den ich anstellte, um das Condensationswasser auf mikroskopische Gebilde zu untersuchen, blieb ohne positives Resultat.

Wir stellen nun im Folgenden die Gesammtmenge von quantitativ bestimmbaren Substanzen zusammen, welche bei mässigem Luftwechsel 135 Grm. Exkremente, mit einem Verhältniss des Kothes zum Harn wie 1 : 3 in 24 Stunden an die Luft abgeben.

| | |
|---|---|
| $CO_2$ . . . . . . . . . . . . . . | 0.0836 Gramm |
| $NH_3$ . . . . . . . . . . . . . . | 0.0153 „ |
| $H_2S$ . . . . . . . . . . . . . . | 0.00025 „ |
| Organische Substanz ($CH_4$) . . . . | 0.0564 „ |
| Im Ganzen | 0.15515 Gramm |

Von dieser Gesammtsumme bildet die Kohlensäure etwas mehr als die Hälfte, so dass, wenn wir in Bezug auf eine solche Mischung von Exkrementen die abgegebene Kohlensäure bestimmt haben, wir mit grosser Sicherheit annehmen können, dass die Gesammtabgabe in derselben Zeit nicht ganz das Doppelte davon betrage.

Eine Abtrittgrube, die 18 Kubikmeter Exkremente enthält, gibt also, auch bei äusserst geringer Luftbewegung an der Oberfläche, in 24 Stunden durchschnittlich ab:

| | |
|---|---|
| $CO_2$ . . . | 11.144 Kilogramm |
| $NH_3$ . . . . | 2.040 „ |
| $H_2S$ . . . . | 0.033 „ |
| $CH_4$ . . . . | 7.464 „ |
| Im Ganzen | 20.681 Kilogramm, |

theils blos unathembare, theils aber schlecht riechende die Luft verpestende Substanzen.

Rechnen wir die Gewichte dieser Gase in Volumina um, so erhalten wir als Abgabe von 18 Kubikmeter Exkrementen in 24 Stunden

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| $CO_2$ . . | 5666.6 | Liter, oder in runder Zahl | 5.67 | Kubikmtr. |
| $NH_3$ . . | 2673.7 | „ „ „ „ „ | 2.67 | „ |
| $H_2S$ . . | 21.7 | „ „ „ „ „ | 0.02 | „ |
| $CH_4$ . . | 10430.7 | „ „ „ „ „ | 10.43 | „ |
| Im Ganzen | 18792.7 | Liter = | 18.79 | Kubikmtr. |

So gross ist also die Menge von unathembaren oder direkt schädlichen Substanzen, die eine einzige, mittelgrosse Abtrittgrube täglich der Atmosphäre übergibt! — Man stelle sich nun vor, dass das Tag aus Tag ein, Jahr aus Jahr ein so fort geht, und dass im

Allgemeinen jedes Haus seine Abtrittgrube oder doch einen Ort hat, an dem die Bewohner ihre Exkremente aufbewahren, — und man wird sich nicht mehr wundern über den Gestank, der die Häuser und Strassen unserer Städte oft zu einem recht unangenehmen Aufenthalt macht. — Es ist heut zu Tage Mode geworden, über die sanitären Schäden der in der Nähe von bewohnten Orten befindlichen Kirchhöfe zu sprechen, und gewiss agitirt man mit Recht für Entfernung der Kirchhöfe aus den Städten und Dörfern, oder sogar für vollständiges Aufgeben derselben und Annahme eines neuen Vernichtungsmodus der menschlichen Leichen. Diese Idee hat im Publikum auffallend rasch Wurzel gefasst, und es war sehr leicht, den Leuten plausibel zu machen, dass die Kirchhöfe Luft und Wasser verderben. Dass aber die Abtrittgruben geeignet sind, die Luft in viel grösserem Maassstabe zu verpesten, als die Kirchhöfe, daran denkt man bei uns noch allzuwenig. Es ist gewiss wahr, dass der Lebende die ihn umgebende Atmosphäre und den Boden unter seinen Füssen mehr vergiftet als der Todte; — leider ist er aber gegen den eigenen Gestank sehr unempfindlich! — Und doch ist die unmittelbare und direkte Verpestung der Luft noch nicht der einzige Schaden, den die Abtrittgruben, diese Brutlöcher von Krankheit und Tod, verursachen. Alle die grossen Massen von flüssigen und halbflüssigen Exkrementen, die aus den Gruben in das umliegende Erdreich übergehen, hauchen ja von dort aus ebenfalls schädliche Substanzen in die Grundluft aus, und da die letztere mit der Luft unserer Wohnungen fortwährend communizirt, so bekommen wir, ausser den Pestdünsten der Abtrittgruben selbst, auch noch die schädlichen Exhalationen des vergifteten Bodens in unsere Athemorgane.

Sollte es im Angesicht dieser Thatsachen nicht ein viel verdienstlicheres Werk sein, wenn all die Vereine, die sich für Leichenverbrennung schon überall gebildet haben, wenigstens einen Theil ihrer Aufmerksamkeit und ihres Interesses den Abtrittgruben zuwenden und für möglichst rasche Beseitigung derselben agitiren würden!

Um sich davon zu überzeugen, dass direkt durch die Abtrittröhren den Wohnungen Abtrittgase in grosser Menge mitgetheilt

werden können, genügt eigentlich schon eine normal-funktionirende Nase. Da aber die subjektiven Empfindungen nicht so zuverlässig sind, wie objektive Beobachtungen und ausserdem nur eine qualitative Reaktion ermöglichen, so wollte ich mich mit Hilfe des Anemometers überzeugen, wie viel Luft einer Wohnung unter verschiedenen Umständen aus den Abtrittröhren zuströmen kann.

In einem gut gebauten Münchner Hause mit Abtrittgrube und thönernen, inwendig emaillirten Fallröhren nahm ich unmittelbar nacheinander im III. und im I. Stock anemometrische Beobachtungen vor. Die Abtritte des Hauses liegen gegen Westen. Zur Zeit der Beobachtung herrschte ein mässiger Ostwind; die Temperatur der äussern Luft betrug 17° Cels.

Die ersten 2 Beobachtungen im III. Stocke, bei offenem Fenster und geschlossener Thüre des Abtritts, ergaben das einemal in 5 Minuten 1820 Umdrehungen des Flügelrades, das anderemal 1800 Umdrehungen. Mit Benutzung der Formel des angewandten Anemometers berechnet sich hieraus eine Geschwindigkeit des Luftstroms von 0.942 und 0.934 Meter in der Sekunde. Da der Querschnitt des Fallrohrs 144 Quadrat-Centimeter beträgt, so ergibt sich für 24 Stunden eine durch die Mündung des Rohres austretende Luftmenge von 1172 resp. 1159 Kubikmeter! — Diese Luftmasse, deren Geruch nicht besonders angenehm war, strömte nun nicht etwa zum geöffneten Fenster hinaus, sondern nahm ihre Richtung, trotz der geschlossenen Thüre, direkt in die Wohnung. Stellte ich nämlich das Anemometer in die Fensteröffnung, só stand das Flügelrädchen ganz unbeweglich, — ein Beweis, dass der Luftstrom im Fenster jedenfalls nur äusserst gering war; nur ganz im obersten Theile des Fensters zeigte sich eine schwache Luftbewegung, — aber nicht von Innen nach Aussen, sondern in umgekehrter Richtung. Schloss ich dagegen das Fenster und öffnete die Thüre gegen die Wohnung hin, so war eine, wenn auch schwache und etwas stossweise Bewegung des Anemometerflügels wahrzunehmen, wenn das Instrument in die Thüröffnung gehalten wurde.

Bei geschlossenem Fenster war die Strömung der durch die Abtrittröhre heraufdrängenden Luft etwas geringer. Das Anemometer ergab in 5 Minuten einmal 1140, das anderemal 1340 Um-

drehungen. Es entspricht dies einer Luftgeschwingkeit in der Sekunde von 0.661 resp. 0.744 Meter, und die austretende Luftmenge belief sich, auf 24 Stunden berechnet, auf 822 und 925 Kubikmeter.

Im I. Stock gestalteten sich die Verhältnisse anders. Bei offenem Abtrittfenster und geschlossener Thür ging ein constanter Luftstrom von Aussen durch das Fenster in's Abtrittrohr hinein, so dass ein Ausströmen von Abtrittgasen in die Wohnung nicht stattfand. Bei geschlossenem Fenster dagegen schlug die Strömung um und kam nun durch die Röhre herauf in den Abtritt hinein, war jedoch durchaus nicht constant und im Ganzen sehr viel schwächer als im 3. Stock. Zwei Versuche ergaben das einemal 350 Umdrehungen in 5 Minuten, das anderemal nur 50 Umdrehungen. Daraus berechnet sich eine Luftgeschwindigkeit per Sekunde von 0.335 und 0.211 Meter. Würden während 24 Stunden die Verhältnisse die gleichen bleiben, so träten in dem einen Fall während dieser Zeit 417 Kubikmeter, im zweiten Fall 262 Kubikmeter Luft aus der Abtrittröhre in die Wohnung über. — Ich bemerke noch, dass zu verschiedenen Zeiten auch im III. Stock sich kein Uebertritt von Luft aus der Röhre in das Abtrittlokal anemometrisch nachweisen liess; überhaupt variiren natürlich alle diese Verhältnisse je nach Windrichtung, Temperatur, Bedeckung der Gruben etc. Immerhin aber ist es gewiss, dass durch die Abtrittsröhren grosse Mengen verunreinigter Luft den Wohnungen zugeführt werden können, und dass die höheren Etagen, wenn die Röhre nicht bis über's Dach hinauf verlängert ist, davon viel mehr zu geniessen bekommen, als die tiefer gelegenen. Letztere können sich auch durch Oeffnen der Fenster des Abtrittlokales vor dem Andrang der schlechten Luft schützen, weil dann die kältere Luft von Aussen hereinstürzt und im Abtrittrohr nach oben drängt; in den höheren Etagen dagegen ist dies einfache Mittel nicht immer wirksam und kann nur dann Erfolg haben, wenn die Luft draussen wärmer ist, als in der Wohnung.

Es ist vielleicht nicht uninteressant, an dieser Stelle Einiges über die Quantität der Sauerstoffaufnahme von Seite der Exkremente hinzuzufügen. — Ich habe früher gezeigt, dass bei der

getroffenen Versuchsanordnung eine berücksichtigenswerthe Abgabe oder Aufnahme von Wasser durch die Exkremente nicht stattfindet, dass also, wenn die Gewichtsabnahme des Exkrementenkolbens bedeutend geringer ist, als das Gewicht der in der betreffenden Zeit von den Exkrementen abgegebenen Substanzen, dies davon herrühren muss, dass die Exkremente Sauerstoff aus der darüber hinstreichenden Luft aufgenommen haben. Durch die Versuche mit Wasserstoff habe ich bewiesen, dass eine solche Sauerstoffaufnahme wirklich stattfindet, und wir sind jetzt auch im Stande, ihre Quantität wenigstens annähernd zu bestimmen.[1]) — Wir haben gesehen, dass die abgegebene Kohlensäure etwas mehr als die Hälfte der Gesammtabgabe bildet; wenn wir also die in 24 Stunden abgegebene Kohlensäuremenge verdoppeln und dann die wirkliche Gewichtsabnahme, welche der Kolben während dieser 24 Stunden erfahren hat, davon subtrahiren, so bekommen wir direkt diejenige Menge von Sauerstoff, welche in derselben Zeit die Exkremente aus der Luft aufgenommen haben müssen. — Die folgende Tabelle stellt die Resultate der Versuche dar, die in 14 aufeinanderfolgenden Tagen mit einem und demselben Kolben vorgenommen wurden. Bei Beginn des Versuchs waren die Exkremente drei Tage alt.

Tabelle IX.

| Gewichtsabnahme in 24 Stunden | Verdoppelte Menge der abgegebenen $CO_2$ — als Gesammtabgabe | Sauerstoffaufnahme in 24 Stunden |
|---|---|---|
| 0.0156 | 0.1176 | 0.1020 Gramm |
| 0.0377 | 0.1350 | 0.0970 |
| 0.0480 | 0.1110 | 0.0630 |
| 0.0516 | 0.1124 | 0.0608 |
| 0.0480 | 0.1128 | 0.0648 |
| 0.0370 | 0.1014 | 0.0644 |
| 0.0507 | 0.1056 | 0.0549 |
| 0.3076 | 0.1434 | 0.1058 |

1) Dass von den Exkrementen grosse Mengen von Sauerstoff aufgenommen werden, erwähnt schon Pappenheim in seinem Handbuch der Sanitätspolizei (I. pag. 62, zweite Ausgabe); doch finden wir bei ihm keine Mittheilungen über die wirklichen Mengen des absorbirten Sauerstoffs.

| Gewichtsabnahme in 24 Stunden | Verdoppelte Menge der abgegebenen $CO_2$ — als Gesammtabgabe | Sauerstoffaufnahme in 24 Stunden |
|---|---|---|
| 0.0417 | 0.1128 | 0.0711 Gramm |
| 0.0365 | 0.0976 | 0.0611 |
| 0.0327 | 0.1066 | 0.0734 |
| 0.0261 | 0.1070 | 0.0809 |
| 0.0480 | 0.1066 | 0.0586 |
| 0.0005 | 0.1264 | 0.1259 |
| | | Im Mittel 0.0774 Gramm |

Wir sehen, dass die Sauerstoffaufnahme eine sehr bedeutende ist, und es lässt sich sogar eine geringe Zunahme derselben mit dem Alter der Exkremente erkennen: die Durchschnittszahl beträgt für die erste Hälfte des Versuchs 0.0724 Gramm, für die zweite 0.0824 Gramm. — Indem wir in der folgenden Tabelle die an verschiedenen Kolben gewonnenen Resultate übersichtlich zusammenstellen, wird sich eine Durchschnittsziffer für die tägliche Sauerstoffaufnahme ergeben, die wir der Berechnung auf ein grösseres Quantum von Exkrementen zu Grunde legen können.

Tabelle X.

| Nro. des Kolbens | Zahl der Versuche | Alter des Kolbens | Gewichtsab-abnahme in 24 Stunden | Gesammtabgabe | Sauerstoffaufnahme |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 1 Tag | 0.0421 | 0.0782 | 0.0361 |
| 2 | 2 | 8 " | 0.0456 | 0.1918 | 0.1435 |
| 3 | 1 | 14 " | 0.0840 | 0.1468 | 0.0628 |
| 4 | 1 | 1 " | 0.0420 | 0.1180 | 0.0760 |
| 5 | 2 | 1—2 " | 0.0529 | 0.1596 | 0.1067 |
| 6 | 1 | 4 " | 0.0196 | 0.1210 | 0.1014 |
| 7 | 4 | 4—8 " | 0.0581 | 0.1521 | 0.0940 |
| 8 | 1 | 14 " | 0.0516 | 0.3254 | 0.2738 |
| 9 | 1 | 2 " | 0.1020 | 0.1678 | 0.0658 |
| 10 | 14 | 3—17 " | 0.0366 | 0.1140 | 0.0774 |
| | | | | | Im Mittel 0.1039 Grm. |

Das heisst — 135 Gramm Exkremente nehmen in 24 Stunden im Mittel 0.1039 Gramm Sauerstoff aus der Luft auf; demgemäss

würde eine Exkrementenmasse von 18 Kubikmeter täglich 13.85 Kilogramm Sauerstoff an sich ziehen.

Die erstaunliche Quantität der von grösseren Anhäufungen von Exkrementen abgegebenen, theilweise direkt der Gesundheit schädlichen Gase; und die grosse Menge Sauerstoff, welche die Exkremente der über ihnen stehenden Luft entziehen, erklären es hinlänglich, dass die Luft in schlecht ventilirten Gruben oder in mit Abtrittjauche angefüllten Kanälen einen äusserst giftigen Charakter annehmen und mitunter sehr bedauernswerthe Todesfälle verursachen kann, wenn Menschen an einen solchen Ort hingelangen, ohne dass derselbe vorher gehörig gelüftet ist.

---

Indem ich jetzt zur Schilderung der Versuche mit den verschiedenen Desinfektions- und Desodorationsmitteln übergehe, bemerke ich, dass es sich hiebei nicht darum handelte, direkt die chemischen Veränderungen zu studiren, welche durch Beimischung dieser Mittel in den Exkrementalmassen erzeugt werden, sondern ich wollte vor der Hand nur wissen, inwieweit wir vermittelst dieser Substanzen die Luft unserer Wohnungen da, wo Abtrittgruben existiren, vor der Beimischung von Abtrittgasen freihalten können. Ich beobachtete also an den mit Desinfektionsmitteln versetzten Exkrementen dasselbe, worauf ich früher ohne Desinfektionsmittel mein Augenmerk gerichtet hatte, d. h. ich bestimmte quantitativ die Abgabe von Kohlensäure, Ammoniak und kohlenstoffhaltigen, organischen Substanzen und qualitativ die Abgabe von Schwefelwasserstoff.

Ich will vorerst die Wirkung der einzelnen angewandten Mittel kurz schildern und nachher die Resultate in einer allgemeinen Tabelle zusammenfassen.

Bei der Anordnung der Versuche verfuhr ich immer so, dass ich vorerst einige Tage hindurch die Kohlensäure — Ammoniak — und Schwefelwasserstoffabgabe der unvermischten Exkremente beobachtete, hernach das Desinfektionsmittel zugab, und dann wieder mehrere Tage hindurch die Quantität der abgegebenen Gase bestimmte. In Bezug auf die organischen Substanzen musste ich mich immer mit wenigen Bestimmungen begnügen, da diese Versuche sehr zeitraubend waren und beständige Aufmerksamkeit verlangten.

In erster Linie wandte ich, als ein sehr radikales Mittel, den Sublimat an, den Feind allen organischen Lebens. 135 Gramm Exkremente versetzte ich mit einer Lösung, die 10 Gramm Sublimat enthielt, so dass die Reaktion der vorher alkalischen Exkremente intensiv sauer wurde und auch Monate lang sauer blieb. Es erfolgte sofort nach Hinzugabe der Sublimatlösung Aufbrausen in Folge reichlicher Kohlensäureentwicklung, und nach einiger Zeit trennte sich der Inhalt des Kolbens in zwei deutlich markirte Schichten: die untere, von leicht röthlichbrauner Farbe, enthielt die festen Stoffe, die obere bildete eine, wenn auch nicht klare, so doch wenig feste Stoffe in Suspension haltende Flüssigkeit. Der Fäkalgeruch der Mischung war bedeutend schwächer, als vor dem Zusatz des Sublimates. — Da es überflüssig wäre, die Resultate jedes einzelnen Versuchstages hier anzuführen, so bringe ich bei den die abgegebenen Gasmengen repräsentirenden Zahlen nur die Mittel aus allen einzelnen Beobachtungen; die Zahlen beziehen sich alle auf eine Zeitdauer des Versuchs von 24 Stunden.

Tabelle XI.

| Vor der Desinfektion | | | Nach der Desinfektion | Differenz |
|---|---|---|---|---|
| $CO_2$ | 0.0541 | Mittel aus 3 Versuchen | 0.0774 an den 3 ersten Tagen | + 43.1 % |
| | | | 0.0257 „ „ 3 folgd. „ | — 50.6 „ |
| $NH_3$ | 0.0079 | Mittel aus 3 Versuchen | 0.0000 | — 100 „ |
| $CH_4$ | 0.0147 | 1 Versuch | 0.0148 | — 66.9 „ |
| $H_2S$ | starke Entwicklung | | 0.0000 | — 100 „ |

Ich bemerke hiezu, dass ich mit einem zweiten Kolben vollständig dasselbe Resultat gewann: die Kohlensäureentwicklung war in den ersten Tagen stärker, ging aber hernach rasch zurück; die Ammoniak- und Schwefelwasserstoff-Entwicklung wurde vollständig sistirt und die Abgabe der Kohlenwasserstoffe nahm um 62.6% ab. Die geringere Abgabe der Substanzen von spezifischem Geruch machte sich auch dadurch erkennbar, dass bei Verbrennung der Luft dasjenige Barytwasser, in welches die nicht verbrannte Luft

überging, nur einen äusserst unbedeutenden Geruch zeigte, während es ohne Desinfektion sehr eckelhaft roch.

Ueber die Wirkung des **Eisenvitriols** liegt mir eine grosse Menge von Versuchen vor. Das Präparat wurde immer im Ueberschusse zugesetzt; auch nachdem die saure Reaktion der Mischung schon deutlich constatirt werden konnte, fügte ich noch immer eine grössere Quantität desselben in Substanz hinzu. Die Exkremente nahmen theils eine röthlichbraune Färbung an, von Eisenoxydhydrat herrührend, theils wurden sie schwärzlich von gebildetem Schwefeleisen. Der Geruch der Mischung war nicht mehr der spezifische Fäkalgeruch, aber doch sehr widerwärtig. Die Resultate in Bezug auf die Abgabe von Gasen sind folgende:

Tabelle XII.

| | Vor der Desinfektion | | Nach der Desinfektion | | Differenz |
|---|---|---|---|---|---|
| $CO_2$ | 0.0714 | Mittel aus 5 Versuchen | 0.0525 | Mittel aus 5 Versuchen | — 26.5 % |
| $NH_3$ | 0.0085 | 3 Versuche | 0.0000 | | — 100 „ |
| $CH_4$ | 0.0429 | 3 Versuche | 0.0205 | 2 Versuche | — 52.2 „ |
| $HS_2$ | starke Entwicklung | | 0.0000 | | — 100 „ |

Die Abgabe von Kohlenwasserstoffen scheint also nach der Beimischung von Eisenvitriol stärker zu bleiben, als nach derjenigen von Sublimat; doch zeigte auch in diesen Versuchen bei der Verbrennung der Luft das Barytwasser, das die unverbrannte Luft aufnimmt, einen viel weniger unangenehmen Geruch, als vor der Desinfektion. Ueber die constatirte Abnahme der Kohlensäure-Abgabe wundert man sich eigentlich; man hätte, da das Eisenoxydhydrat beständig Sauerstoff abgibt und die Oxydation befördert, eher eine Zunahme der Kohlensäureabgabe erwartet. Doch existirt über die Abnahme kein Zweifel, denn mit einem andern, ebenso behandelten Kolben fand ich im Mittel aus drei Versuchen eine Abnahme der Kohlensäureabgabe von 20.2%, und zwar liess sich vom ersten Tage an die Abnahme constatiren.

Zu einem Versuch über die Wirkung der verdünnten **Schwefelsäure** wurden ganz frische Exkremente genommen und die

Schwefelsäure im Ueberschuss zugesetzt. Die Masse nahm eine hellbraune Farbe an und wurde viel dünnflüssiger, als sie früher gewesen war. Der spezifische Fäkalgeruch war immer noch bemerkbar, doch weniger intensiv. Die Resultate in Bezug auf die Abgabe von Gasen waren folgende:

Tabelle XIII.

| | Vor der Desinfektion | | Nach der Desinfektion | | Differenz |
|---|---|---|---|---|---|
| $CO_2$ | 0.0798 | 2 Versuche | 0.3180 in den 2 ersten Tagen<br>0.0631 „ „ 2 folgd. „ | | + 300 %<br>— 30 „ |
| $NH_3$ | 0.0200 | 2 Versuche | 0.0000 | | — 100 „ |
| $CH_4$ | 0.0594 | | 0.0157 | 2 Versuche | — 73.5 „ |
| $H_2S$ | keine Entwicklung | | 0.00056 | starke Entwicklung, nach 3 Tagen sistirend | |

Ich bemerke hiezu, dass der zum Versuch verwendete Kolben während der der Luftverbrennung vorausgehenden Nacht über Natronkalk unter einer Glasglocke stand. Dies geschah zur Entfernung der durch die Säure in grosser Menge aus ihren Verbindungen ausgetriebenen Kohlensäure; dieselbe hätte sonst durch ihren Einfluss auf das Verhältniss der vorgebildeten zur aus der Verbrennung resultirenden Kohlensäure das Versuchsresultat gestört.

Das Gemeinsame der drei bis jetzt genannten Mittel ist die günstige Wirkung auf die Abgabe von Ammoniak, Schwefelwasserstoff und organische Substanzen: die beiden erstern treten gar nicht mehr auf, die Menge der letzteren wird sehr stark reduzirt, — der Geruch verliert viel von seinem spezifischen Charakter, ist aber bei den mit Eisenvitriol gemischten Exkrementen stärker und unangenehmer als bei den mit Sublimat oder Schwefelsäure gemischten.

Die Wirkung der Carbolsäure konnte ich nur in Bezug auf die Abgabe von Kohlensäure, Ammoniak und Schwefelwasserstoff prüfen, nicht aber in Bezug auf die Kohlenwasserstoffe, da, wie ich mich durch den Versuch überzeugte, die Carbolsäure selbst sehr viel kohlenstoffhaltige organische Substanz an die Luft abgibt.

Zur Desinfektion wurde eine conzentrirte Lösung roher Carbolsäure verwendet und davon den Exkrementen so viel beigemischt, bis jeder Fäkalgeruch verschwunden war, die Mischung ausschliesslich nach Carbolsäure roch und schwach saure Reaktion angenommen hatte. Gut mit der Säure gemischt, bekamen die Exkremente eine hellrothe Färbung.

Tabelle XIV.

| | Vor der Desinfektion | | Nach der Desinfektion | | Differenz |
|---|---|---|---|---|---|
| $CO_2$ | 0.0745 | {20 Versuche | 0.0270 | {8 Versuche | — 63.8 % |
| $NH_3$ | 0.0132 | { „ „ | 0.0036 | { „ „ | — 72.7 „ |
| $H_2S$ | entwickelt | | 0.0000 | | — 100 „ |

Ein anderer Versuch mit Carbolsäure ergab eine Abnahme der Kohlensäure um 58 %, des Ammoniak um 67.2 % und ebenfalls ein Verschwinden des Schwefelwasserstoffs, dient also in allen Beziehungen zur Bekräftigung der in der Tabelle ausgedrückten Resultate.

Bei der Desinfektion mit frisch bereiteter, im Ueberschuss zugesetzter Kalkmilch ergaben sich folgende Resultate:

Tabelle XV.

| | Vor der Desinfektion | | Nach der Desinfektion | Differenz |
|---|---|---|---|---|
| $CO_2$ | 0.1435 | {2 Versuche | 0.0150 | — 89.5 % |
| $NH_3$ | 0.0417 | { „ „ | sehr starke Entwicklung, so dass alle vorgelegte $H_2SO_4$ neutralisirt ist | |
| $H_2S$ | entwickelt | | 0.0000 | — 100 „ |
| $CH_4$ | 0.0594 | | 0.0141 | — 76.3 „ |

Die Kalkmilch hat also als Desodorationsmittel für Exkremente den grossen Nachtheil, dass in Folge der durch sie bedingten, stark alkalischen Reaktion der Harnstoff in grossen Mengen zersetzt und das gebildete kohlensaure Ammoniak rasch zerlegt wird; hiebei

geht die Kohlensäure an den Kalk und das frei gewordene Ammoniak tritt in die Luft über. Die Wirkung der Kalkmilch auf die Zurückhaltung der übrigen Gase ist dagegen eine sehr intensive.

Ueber die Desodoration der Exkremente mit trockener, feingesiebter Gartenerde wurden zahlreiche Versuche ausgeführt. Gewöhnlich wird angegeben, dass 3 Pfund solcher Erde ausreichen, um die festen und flüssigen Exkremente eines Menschen in einem Tage geruchlos zu machen. Demnach käme auf jedes Gramm Exkremente ungefähr ein Gramm Erde. — Der von mir zu diesem Versuch benützte Kolben enthielt 170 Gramm Exkremente (45 Koth und 125 Harn), und ich mischte damit sorgfältig und nach und nach 170 Gramm Gartenerde, so dass eine kaum feuchte, immerhin aber noch etwas breiige Masse entstand, in welcher jedoch das Vorhandensein von Exkrementen nicht mehr zu erkennen war. Die Oberfläche wurde noch mit einer Schicht trockener Erde überdeckt. — Ich bemerke noch, dass auch die trockene Gartenerde eine Spur von Kohlensäure an die darüberstreichende Luft abgibt; es kann jedoch diese geringe Menge die Versuchsresultate in keiner Weise störend beeinflussen. Die Beobachtung ergab folgendes:

Tabelle XVI.

| | Vor der Desodoration | | Nach der Desodoration | | Differenz |
|---|---|---|---|---|---|
| $CO_2$ | 0.1289 | 3 Versuche | 0.1405 | 4 Versuche | + 9 % |
| $NH_3$ | 0.0414 | " " | 0.0064 | " " | — 84.5 " |
| $CH_4$ | 0.0853 | 2 Versuche | 0.0253 | 2 Versuche | — 70.3 " |
| $H_2S$ | entwickelt | | 0.0000 | 4 " | — 100 " |

Ein Controlversuch mit einem andern Kolben ergab ein ganz ähnliches Resultat: eine geringe Vermehrung der Kohlensäureabgabe und eine bedeutende Verminderung in der Abgabe aller übelriechenden Substanzen. Bei der Verbrennung der Luft zeigte dasjenige Barytwasser, das die unverbrannte Luft aufnahm, keine Spur von unangenehmem Geruch. Die mit Erde gemischten Exkremente selbst beleidigten die Nase in keiner Weise. Nach Ablauf

einiger Wochen zeigte sich auf der Oberfläche des Kolbeninhaltes eine sehr lebhafte Pilzwucherung.

Auch die Desodoration mit fein gepulverter Holzkohle wurde versucht. Dieselbe wurde in solcher Menge mit dem Inhalte des Kolbens gemischt, dass sie mit ihm einen festen Brei bildete. Ausserdem wurde die Oberfläche der Mischung noch mit trockener Kohle bestreut; auf 135 Grm Exkremente kamen 40 Grm. Kohlenpulver (das Volum-Gew. der Kohle ist sehr gering). Der Fäkalgeruch verschwand einige Zeit gänzlich, trat aber schon nach wenigen Tagen wieder hervor. Die Resultate der Versuche waren folgende:

Tabelle XVII.

| | Vor der Desodoration | | Nach der Desodoration | | Differenz |
|---|---|---|---|---|---|
| $CO_2$ | 0.1170 | {3 Versuche | 0.1275 | {3 Versuche | + 9 % |
| $NH_3$ | 0.0221 | { „ „ | 0.0148 | { „ „ | — 33 „ |
| $CH_4$ | 0.0512 | | 0.0262 | | — 48.8 „ |
| $H_2S$ | entwickelt | | 0.0000 | | — 100 „ |

Ich bemerke hiezu noch, dass bei der Verbrennung der Luft der Fäkalgeruch in dem Barytwasser, das die unverbrannte Luft durchzogen hatte, deutlich, wenn auch nicht intensiv, zu erkennen war.

Ich will nun, um einen Vergleich der Wirkung aller desinfizirenden Substanzen, mit welchen experimentirt worden war, zu ermöglichen, die gewonnenen Resultate in einer Tabelle zusammenstellen. Dieselbe enthält die durch die Desinfektionsmittel in der Abgabe der verschiedenen Gase hervorgebrachten Differenzen in Prozentzahlen der vor der Desinfektion abgegebenen Gasmengen.

Tabelle XVIII.

| | $CO_2$ | $NH_3$ | $CH_4$ | $H_2S$ |
|---|---|---|---|---|
| Sublimat . . . . | + 43.1 [1]<br>— 50.6 | — 100 | — 66.9 | — 100 |
| Eisenvitriol . . . . | — 26.5 | — 100 | — 52.2 | — 100 |

1) Die erste Zahl bedeutet das Resultat der 3 ersten Tage nach der Desodoration, die zweite das Resultat der 3 folgenden Tage; ebenso bei der Schwefelsäure.

| | $CO_2$ | $NH_3$ | $CH_4$ | $H_2S$ |
|---|---|---|---|---|
| Schwefelsäure . . . | + 300<br>— 30 | — 100 | — 73.5 | ? |
| Karbolsäure . . . . | — 63.8 | — 72.7 | — | — 100 |
| Kalkmilch . . . . | — 89.5 | sehr starke Entwicklung | — 76.3 | — 100 |
| Gartenerde . . . . | + 9.0 | — 84.5 | — 70.3 | — 100 |
| Holzkohle . . . . | + 9.0 | — 33.0 | — 48.8 | — 100 |

Man sieht, dass der Schwefelwasserstoff von allen Substanzen in gleicher Weise und vollständig zurückgehalten wurde. Eine Ausnahme hievon zeigte sich nur bei Anwendung der Schwefelsäure, welche im Laufe einiger Tage stärkeres Entweichen dieses Gases verursachte. — Das Ammoniak wurde von Sublimat, Eisenvitriol, Schwefelsäure vollkommen, von der Carbolsäure und der Gartenerde etwas unvollständig, und von der Holzkohle nur zum dritten Theil zurückgehalten; die Kalkmilch trieb es in grossen Mengen aus. — Die Verminderung in der Abgabe der übelriechenden Kohlenwasserstoffe und fetten Säuren schwankt bei den verschiedenen Desinfektionsmitteln zwischen 1/2 — 3/4 des ohne Desinfektion erreichten Werthes; am besten wirken Kalkmilch, Schwefelsäure und Gartenerde, am geringsten tritt der wohlthätige Einfluss in dieser Richtung bei Eisenvitriol und Holzkohle hervor. Ueberhaupt steht nach meinen Beobachtungen die Holzkohle in Bezug auf ihre desodorisirende Wirkung allen übrigen von mir angewandten Substanzen bedeutend nach. Es widerspricht dies der allgemeinen Auffassung vom Werthe der Kohle als Desodorationsmittel, und doch glaube ich nicht, dass die den Exkrementen beigemischte Quantität Kohle zu gering war, denn wie ich schon erwähnte, wurden dieselben mit der Kohle gut gemischt, bildeten mit ihr einen Brei von grosser Consistenz, und ausserdem wurde dieser Brei noch mit trocknem Kohlenpulver zugedeckt. — Die Abgabe von Kohlensäure schliesslich wird durch alle angewandten Desinfektionsmittel, mit Ausnahme von Gartenerde und Holzkohle, reduzirt, wenn auch im Anfang sowohl der Sublimat, als auch die Schwefelsäure grosse Mengen von Kohlensäure austreiben.

Am intensivsten wirkt auf die Bindung der Kohlensäure die Kalkmilch ein.

Ich will nun noch versuchen, die Einwirkung der Desinfektionsmittel auf die Sauerstoffaufnahme von Seite der Exkremente darzustellen. Früher habe ich (Tabelle IX und X) die Menge des aufgenommenen Sauerstoffes für eine grosse Reihe von Versuchskolben aus der Differenz zwischen der beobachteten Gewichtsabnahme und der Gesammtabgabe (ungefähr = der doppelten Menge der abgegebenen Kohlensäure) berechnet. Das Mittel der Sauerstoffaufnahme aus zahlreichen Versuchen betrug für 135 Grm. Exkremente 0.1039 Grm. im Tag. — Die folgende Tabelle ist in ähnlicher Weise zusammengestellt, nur befindet sich unter der Rubrik „Gesammtabnahme" nicht eine Zahl, welche die doppelte Kohlensäuremenge ausdrückt, sondern die Summe der wirklich abgegebenen Mengen von Kohlensäure, Ammoniak (wenn solches überhaupt abgegeben wurde) und Kohlenwasserstoffe. Wo, wie bei Anwendung von Sublimat und Schwefelsäure, Anfangs bedeutende, hernach aber nur geringe Quantitäten von Kohlensäure abgegeben wurden, habe ich aus der ganzen Versuchsreihe das Mittel genommen. — Es versteht sich von selbst, dass alle diese Zahlen keinen Anspruch auf absolute Richtigkeit machen können, immerhin aber wird die Tabelle einen Begriff davon geben, ob überhaupt die Sauerstoffaufnahme nach Beimischung der verschiedenen Desinfektionsmittel zu den Exkrementen sich gesteigert hat oder geringer geworden ist. Dieser Umstand ist nicht ohne Bedeutung, denn dasjenige Mittel wird wohl die beste Desinfektion erzielen, welches die Sauerstoffaufnahme am meisten beschränkt, mit andern Worten — das organische Leben am kräftigsten hemmt. Diesen Maassstab kann man jedoch nicht an die Wirkung der Gartenerde und der Kohle legen, da denselben ganz andere chemische Bedingungen zu Grunde liegen, als der Wirkung der übrigen Substanzen. Die Zahlen bedeuten Durchschnittswerthe aus grösseren Versuchsreihen.

Tabelle XIX.

| | Gewichts-abnahme | Gesammtab-gabe | Sauerstoff-aufnahme | Differenz der O-aufnahme vor u. nach der Desinfektion |
|---|---|---|---|---|
| Sublimat . . . . . | 0.0505 | 0.0668 | 0.0158 | — 84.8 % |
| Eisenvitriol . . . . | 0.0274 | 0.0730 | 0.0456 | — 56.1 „ |
| Schwefelsäure . . . | 0.0578 | 0.0788 | 0.0210 | — 79.8 „ |
| Erde . . . . . . | 0.0508 | 0.1728 | 0.1220 | + 17.4 „ |
| Kohle . . . . . . | 0.0434 | 0.1685 | 0.1215 | + 16.9 „ [1] |

Vergleicht man die in der letzten Rubrik enthaltenen Werthe der Sauerstoffaufnahme mit dem Durchschnittswerthe derselben bei Exkrementen ohne Desinfektionsmittel (Tab. X), so zeigt sich eine sehr bedeutende Verminderung der Sauerstoffaufnahme durch Sublimat, Eisenvitriol und Schwefelsäure; namentlich scharf tritt die Wirkung beim Sublimat hervor. Es ist mir sogar höchst wahrscheinlich, dass die Sauerstoffaufnahme bei Mischung der Exkremente mit der nöthigen Menge Sublimat noch mehr sinkt, als die obige Tabelle andeutet, und dass dies nur durch die verhältnissmässig hohe Zahl für die Kohlensäureabgabe, die in der Tabelle angenommen wurde, verdeckt ist. — Nächst dem Sublimat zeigt, wie zu erwarten stand, die intensivste Wirkung auf die Verminderung der Sauerstoffaufnahme die Schwefelsäure, indem sie ebenfalls, wie jener, das organische Leben zerstört und somit den Hauptgrund zur Sauerstoffaufnahme beseitigt. Hier kann man also wirklich nicht nur von einer Desodoration, sondern von einer eigentlichen Desinfektion sprechen, denn, wenn die Krankheitskeime organisirte Gebilde sind, so müssen sie durch Sublimat und Säuren

1) Vergleicht man die Differenz der Sauerstoffaufnahme vor und nach der Desinfektion mittelst der verschiedenen Substanzen mit der in Tab. XXII notirten Veränderung in der Quantität der von den Exkrementen nach der Desinfektion abgegebenen Gase, so zeigt sich eine, wenn auch nicht regelmässige, so doch deutliche Beziehung zwischen diesen beiden Grössen: wird durch das angewandte Mittel die Gesammtabgabe erheblich reducirt, so findet dasselbe auch mit der Sauerstoffaufnahme statt; bleibt auch nach der Desinfektion die Gesammtabgabe bedeutend, so ist es auch die Sauerstoffaufnahme.

schon aus dem Grunde zerstört werden, weil ihnen nach Anwendung dieser Mittel der zu ihrem Leben nöthige Sauerstoff nicht mehr zukommt.

Die Beimischung von Gartenerde und Kohle scheint eher die Sauerstoffaufnahme zu begünstigen; vielleicht erreichen diese Mittel theilweise wenigstens ihre desinfizirende Wirkung durch Beförderung des Oxydationsprozesses, doch scheint eine Zerstörung des organischen Lebens durch sie nicht erreicht werden zu können, vielmehr muss, wenigstens die Gartenerde, demselben einen günstigen Boden bieten, so dass gegen spezifische Krankheitskeime eine Desinfektion mit Erde nicht anzuempfehlen wäre.

Für eine Mischung der Exkremente mit Eisenvitriol habe ich die Sauerstoffaufnahme direkt durch den Versuch bewiesen, indem ich zur Controle, statt der atmosphärischen Luft, Wasserstoffgas über die so desinfizirten Exkremente leitete. Die folgende Tabelle gibt die Resultate eines solchen Versuchs. Es wurde hiebei die Gesammtabgabe aus der direkt bestimmten Abgabe von Kohlensäure und Kohlenwasserstoff berechnet, da Ammoniak und Schwefelwasserstoff nicht mehr abgegeben wurden. Die Kohlenwasserstoffe machen nach der Desinfektion mit Eisenvitriol $^2/_5$ der Kohlensäureabgabe aus.

Tabelle XX.

| Durchleiten von | Gewichtszunahme | Gewichtsabnahme | Gesammtabgabe | Sauerstoffaufnahme |
|---|---|---|---|---|
| Luft . . . . . . . . | 0.011 | — | 0.0334 | 0.0444 |
| Wasserstoff . . . . | — | 0.0125 | 0.0148 | 0.0023 |
| Luft . . . . . . . . | 0.014 | — | 0.0310 | 0.0440 |

Wie man sieht, hat in beiden Fällen beim Durchleiten von Luft eine kleine Gewichtszunahme des Kolbens stattgefunden, und dem entspricht eine merkliche Sauerstoffaufnahme, — während beim Durchleiten von Wasserstoff eine der Gesammtabgabe sehr annähernd gleiche Gewichtsabnahme des Kolbens stattfand, so dass nur höchstens eine Spur Sauerstoff aus dem unreinen Wasserstoffgas aufgenommen wurde.

Ich will nun noch durch einige Berechnungen zeigen, wie viel weniger Ausdünstungen der Abtrittsgruben den Wohnungen zugeführt werden, wenn die Exkremente in richtiger Weise mit einem der verschiedenen Desinfektionsmittel gemischt sind. Zum Vergleiche stelle ich die von nicht desinfizirten Exkrementen im Durchschnitte abgegebenen Fäulnissgase oben an.

Tabelle XXI.

| | Von 135 Grm. Exkrementen werden in 24 Stdn. durchschnittlich abgegeben | Von 18 Kubikmtr. Exkrementen werden in 24 Stdn. durchschnittlich abgegeben |
|---|---|---|
| $CO_2$ | 0.0836 Gramm | 11.144 Kilogramm |
| $NH_3$ | 0.0153 „ | 2.040 „ |
| $H_2S$ | 0.00025 „ | 0.033 „ |
| $CH_4$ | 0.0560 „ | 7.464 „ |
| Im Ganzen | 0.15515 Gramm | 20.681 Kilogramm |

Die folgende Tabelle enthält in der dritten Rubrik die nach Mischung mit dem betreffenden Desinfektionsmittel beobachtete Abweichung in der Gesammtabgabe der Gase, berechnet auf eine Exkrementenmasse von 18 Kubikmeter.

Tabelle XXII.

Abgabe von Gasen nach Anwendung der Desinfektionsmittel.

| | für 135 Gramm | für 18 Kubikmtr. | Abweichung von der Ausdünstung der nicht desinfizirten Exkremente |
|---|---|---|---|
| | | a. bei Sublimat. | |
| $CO_2$ | 0.0257[1]) Grm. | 3.427 Kilogrm. | — 15.281 Kilogrm. oder 73.9 % |
| $NH_3$ | — | — | |
| $H_2S$ | — | — | |
| $CH_4$ | 0.0148 „ | 1.973 „ | |
| Im Ganzen | 0.0405 Grm. | 5.400 Kilogrm. | |
| | | b. bei Eisenvitriol. | |
| $CO_2$ | 0.0525 Grm. | 7.00 Kilogrm. | — 10.951 Kilogrm. oder 52.9 % |
| $CH_4$ | 0.0205 „ | 2.73 „ | |
| Im Ganzen | 0.0730 Grm. | 9.73 Kilogrm. | |

1) Wir nehmen hier die Kohlensäureabgabe, wie sie vom dritten Tage nach der Desinfektion sich zeigte.

| | für 135 Gramm | für 18 Kubikmtr. | Abweichung von der Ausdünstung der nicht desinfizirten Exkremente |
|---|---|---|---|
| | c. bei Schwefelsäure. | | |
| $CO_2$ . . . | 0.0631 Grm. | 8.415 Kilogrm. | — 10.173 Kilogrm. oder 49.2 % |
| $CH_4$ . . . | 0.0157 Grm. | 2.093 „ | |
| Im Ganzen | 0.0788 Grm. | 10.508 „ | |
| | d. bei Gartenerde. | | |
| $CO_2$ . . . | 0.1115 Grm. | 14.867 Kilogrm. | — 2.467 Kilogrm. oder 11.9 % |
| $NH_3$ . . . | 0.0051 „ | 0.680 „ | |
| $CH_4$ . . . | 0.0200 „ | 2.667 „ | |
| Im Ganzen | 0.1366 Grm. | 18.214 Kilogrm. | |
| | e. bei Kohle. | | |
| $CO_2$ . . . | 0.1275 Grm. | 17.000 Kilogrm. | + 1.785 Kilogrm. oder 8.6 % |
| $NH_3$ . . . | 0.0148 „ | 1.973 „ | |
| $CH_4$ . . . | 0.0262 „ | 3.493 „ | |
| Im Ganzen | 0.1685 Grm. | 22.466 Kilogr. | |

Es geht aus dieser Zusammenstellung hervor, dass man wirklich im Stande ist, die Gefahr der Vergiftung von Luft und Boden durch die Exkrementablagerungen in Abtrittgruben bedeutend zu verringern, wenn man den Inhalt der letzteren mit einem der obigen Desinfektionsmittel in hinlänglicher Quantität gut mischt. — Am meisten wird die absolute Menge der aus einer Abtrittgrube in die Luft übergehenden Stoffe vermindert durch Sublimat, Eisenvitriol und Schwefelsäure: Sublimat reduzirt dieselben auf 1/4 der ursprünglichen Grösse, die beiden andern Mittel — auf die Hälfte. Ausserdem ist hervorzuheben, dass nach der Desinfektion fast die ganze Masse der abgegebenen Gase aus Kohlensäure besteht, die für uns in dieser geringen Menge keine Bedeutung hat; alle übelriechenden oder direkt giftigen Stoffe sind entweder sehr bedeutend reduzirt oder werden der Luft gar nicht mehr mitgetheilt. — Gartenerde und Kohle zeigen, wenigstens bei dem angewandten Mischungsverhältniss, eine weniger intensive Wirkung als die oben genannten Stoffe, da sie die Abgabe von Ammoniak nicht verhindern. Im übrigen steht die Erde in ihrer Wirkung denselben am nächsten, da sie die übelriechenden Kohlenwasserstoffe und Fettsäuren in grosser Menge zurückhält. Die Kohle leistet diesen Dienst weniger gut. — Die Wirkung der Carbolsäure kann ich quantitativ nicht mit derjenigen der übrigen Desinfektionsmittel vergleichen, da mir die Beobachtungen über ihren Einfluss auf die Abgabe der Kohlenwasserstoffe fehlen.

Wo also einmal Abtrittgruben bestehen, und wo auch keine Hoffnung auf baldiges Verschwinden derselben vorhanden ist, da sollte man die Wirkung der sogenannten desinfizirenden Substanzen benutzen, und zwar nicht etwa nur um sich vor dem Cholera- und Typhusgift zu schützen, — das wäre ebenso ungenügend als unsicher, — sondern um die chronishe Verpestung der Luft unserer Wohnungen und des Untergrundes unserer Städte möglichst zu verhüten.

Wie wir uns beim Beginn unserer Arbeit von dem Gedanken an diese Anwendung der Desinfektionsmittel leiten liessen, so betonen wir auch jetzt, am Ende der Zusammenstellung unserer Versuchsresultate, dasselbe: ob Cholera- und Typhusgift in den Exkrementen enthalten ist, und ob wir es durch diese Mittel zerstören können, wissen wir nicht, aber wir kennen jetzt die Quantität der schädlichen Substanzen, die wir durch geeignete Anwendung der Desinfektionsmittel täglich von unsern Wohnungen und folglich auch von unsern Lungen fern halten können.

Wenn nun aber auch durch unsere Untersuchungen die Möglichkeit dargethan ist, die Abtrittgruben durch zweckmässige Anwendung desinfizirender Substanzen weniger schädlich zu machen, so dürfen wir doch nicht übersehen, dass auch bei sorgfältigster und reichlichster Anwendung der genannten Mittel weder die Häuser noch der Boden vor dem Eindringen von Fäulnissprodukten vollständig bewahrt werden können, und dass auch eine ganze Reihe anderer Nachtheile der Abtrittgruben (Nothwendigkeit häufiger Leerung derselben, Unverwendbarkeit ihres Inhaltes zu gewissen Zeiten und an gewissen Orten etc.) damit nicht beseitigt werden. Aus diesem Grunde benimmt die Kenntniss einer wohlthätigen Wirkung der Desinfektionsmittel der Agitation für vollständige Entfernung der Abtrittgruben keineswegs ihre Bedeutung; im Gegentheil, wir hoffen durch den Nachweis der kolossalen Gasmassen, welche den Abtrittgruben fortwährend entsteigen und die Luft unserer Häuser verderben, Manchem, der bis jetzt vielleicht schwankte, die Nothwendigkeit der Beseitigung der Gruben noch einleuchtender gemacht zu haben. Es bleibt unter allen Umständen das Beste, wenn wir so rasch als möglich, und mit Anwendung von möglichst viel Wasser, die Exkremente in geruchloser Weise aus den

bewohnten Orten entfernen, und hiefür eignet sich allein ein gut angelegtes Kanalsystem mit hinreichender Wasserspülung und Waterkloseten.

Wenn ich zum Schluss noch mit einigen Worten mich darüber äussern soll, welches Desinfektionsmittel denn nach den vorliegenden Untersuchungen sich am meisten zur Anwendung für die Abtrittgruben empfehle, so geben die in den obigen Tabellen enthaltenen Zahlen selbst hierauf die beste Antwort. Sie zeigen, dass der Sublimat die grösste Verminderung der in die Luft übergehenden, schädlichen Substanzen zur Folge hat; allein seine Anwendung kann wegen der damit verbundenen grossen Kosten keine allgemeine sein. Nach ihm kommt die intensivste Wirkung in Beziehung auf die Zurückhaltung der riechenden Stoffe der Schwefelsäure zu. Schon Ilisch[1]) empfiehlt auf Grund seiner Beobachtungen die verdünnte Schwefelsäure, nebst der Carbolsäure, am meisten zur Desinfektion, und wir können unsrerseits diese Empfehlung nur wiederholen. Die Schwefelsäure hat die Vorzüge der intensiven Wirkung, der Billigkeit und der Unschädlichkeit für die Vegetation, wenn die damit benutzten Exkremente als Dünger benutzt werden. Vor dem Eisenvitriol hat sie jedenfalls den Vorzug stärkerer Wirkung und grösserer Unschädlichkeit für die Felder[2]). — Die Gartenerde ist wegen der grossen Massen, in denen sie zur Anwendung kommen muss, nur dann zu empfehlen, wenn man das Material unmittelbar bei der Hand hat und den Dünger nicht weit fortschaffen muss; wo es sich um Vernichtung spezifischer Krankheitskeime handelt, bietet sie keine Garantie für Vernichtung derselben. — Die Kohle empfiehlt sich ihrer geringeren Wirkung halber noch weniger.

Wir halten also die Anwendung einer verdünnten Schwefelsäure für das beste Mittel, den Inhalt der Abtrittgruben möglichst unschädlich zu machen. Ueber die nothwendige Verdünnung und das Mischungsverhältniss derselben zu den Exkrementen müssten besondere Beobachtungen entscheiden.

---

1) „Untersuchungen über Entstehung und Verbreitung des Cholerakontagiums und über die Wirkung verschiedener desinfizirender Mittel." St. Petersburg 1866.

2) Die Unschädlichkeit der mit Eisenvitriol desinfizirten Exkremente für die Vegetation ist jetzt jedenfalls ebenso sicher festgestellt, wie die von der verdünnten Schwefelsäure. Gegen die allgemeine Anwendung verdünnter Mineral-Säuren spricht deren zerstörende Wirkung auf Mörtel und Eisen. Pettenkofer.

# Xanthin und Harnsäure im Harn eines kranken Schafbockes.

Von

H. Weiske.

Von einem in dem Krankenstalle hiesiger Akademie befindlichen stark leukämischen Schafbocke wurde mir durch Herrn Dr. Rabe eine Quantität Harn, welcher mittelst eines dem Thiere angelegten Harntrichters in einer Flasche gesammelt worden war, zur Untersuchung übergeben. Dieser Harn reagirte intensiv sauer, war stark getrübt und besass eine lehmige Farbe. Ich war Anfangs geneigt, das Sediment, welches sich beim Erhitzen des Harns löste und unter dem Mikroskope rundliche Körnchen zeigte, die theils vereinzelt, theils in grossen Haufen vereinigt waren, für harnsaures Natron zu halten. Weitere Prüfungen, die ich mit dem Sedimente anstellte, überzeugten mich indess bald, dass dasselbe nicht aus harnsauren Salzen, sondern aller Wahrscheinlichkeit nach aus Xanthin bestand.

Gegen das Vorhandensein von Harnsäure sprach zunächst der Umstand, dass das Sediment keine Murexidreaktion gab, sondern beim Erwärmen mit Salpetersäure sich ohne Gasentwicklung auflöste, und nachdem die Lösung zur Trockene abgedampft, einen gelben Rückstand hinterliess, der sich nach Zusatz von Kalilauge gelbroth färbte. Ferner wurde das Sediment nicht nur durch Kalilauge, sondern auch durch Ammoniak, kohlensaures Ammoniak, Essigsäure und Salzsäure aufgelöst; die ammoniakalische Lösung gab mit salpetersaurem Siberoxyd einen gelatinösen gelben, in Ammoniak unlöslichen Niederschlag u. s. w.

Nach 4- bis 5tägigem Stehen zeigte das Sediment wesentlich veränderte Reaktionen. Es löste sich nicht mehr vollständig in

Ammoniak und ebensowenig in Essigsäure und Salzsäure, wohl aber in Kalilauge, gab jetzt deutliche Murexidreaktion und zeigte, unter dem Mikroskope mit Salzsäure, resp. mit Natronlauge behandelt, nach einiger Zeit zahlreiche Krystalle von Harnsäre (meist Wetzsteinform) resp. harnsaurem Natron, denen im letzten Falle kleine Krystalle von oxalsaurem Kalk (Briefcouvertform) beigemengt waren.

Bei den nahen Beziehungen zwischen Xanthin und Harnsäure, deren ersteres unter den stickstoffhaltigen Produkten der regressiven Stoffmetamorphose als Vorstufe der letzteren angesehen werden kann, liegt es nahe, in obigem Falle eine Bildung von Harnsäure durch Oxydation aus dem vorhandenen Xanthin anzunehmen, umsomehr als nach Strecker umgekehrt die Harnsäure durch Reduktion in Xanthin umgewandelt werden kann. In Folge weiterer Zersetzung von Harnsäure schien sich Oxalsäure gebildet zu haben.

Eine zweite Probe des Harns desselben kranken Bockes, welche ich einige Tage nach der ersten erhielt, zeigte gegenüber der ersten sowohl chemisch als auch physikalisch ein verändertes Verhalten. Dieselbe besass eine hochgelbe Farbe, nur noch schwach saure Reaktion und war beinahe vollkommen klar. Auf Zusatz von Salzsäure zu einer etwa bis auf das halbe Volumen eingedampften frischen Harnprobe schied sich nach 24stündigem Stehen eine reichlichen Menge von gelbgefärbten Krystallen aus, die sich sowohl unter dem Mikroskope, als auch in Folge der Murexidreaktion als Harnsäure erwiesen. Ein gleiches Verhalten zeigte eine etwas später untersuchte dritte Harnprobe.

Nach circa 8 Tagen war der Bock verendet. Der aus der Harnblase des todten Bockes gewonnene Harn hatte eine etwas hellere Farbe, war schwach sauer und nur durch etwas Schleim, Epithel etc. getrübt. Er enthielt ebenfalls eine reichliche Menge von Harnsäure und zeigte wiederum, trotzdem der Bock ausschliesslich Vegetabilien (Heu, Hafer, Rüben) als Nahrung zu sich genommen hatte, die Beschaffenheit des Fleischfresserharns.

Versuchs-Station Proskau im Dezember 1874.

# Histiologische und physiologische Studien.

Von

G. Valentin.

Vierzehnte Abtheilung.

## XXX. Einige zur elektrischen Erregung dienende Vorrichtungen.

### a. *Magnetelektrometer.*

Die siebzehnte Abhandlung[1]) dieser Studien enthält die Schilderung von Nebentheilen, die ich an dem Schlittenapparate von du Bois anbringen liess, um den Oeffnungs- oder den Schliessungs-Inductionsstrom abzublenden und daher nur diesen oder jenen zu benützen. Ich suchte die Vorrichtung im Laufe der indess verstrichenen Jahre vielseitiger zu machen, so dass es nicht überflüssig scheint, die Form, in der sie die eidgenössische Telegraphenwerkstätte jetzt anfertigt, näher zu erläutern.

Die neun Hauptschraubenköpfe, welche der Magnetelektromotor enthält, haben verschiedene Nummern eingegraben, um alle Missverständnisse bei der Anweisung für die Herstellung einer beabsichtigten Einzelleistung zu vermeiden. Nr. 1 und Nr. 2 nehmen die beiden Leitungsdrähte der erregenden oder inducirenden Spirale der Hauptrolle auf. Nr. 3 und Nr. 4 sind mit den beiden Enden von dieser, die hinter dem Hammerwerke liegen, verbunden. Nr. 5 befindet sich an einem an der rechten Seitenwand des Magnetelektromotors angebrachten Messingstücke, das mit keiner der beiden Drathrollen desselben leitend zusammenhängt. Es trägt

---

1) In Henle und Pfeuffer's Zeitschrift für rationelle Medicin. Dritte Reihe. Bd. XXXIII. S. 90—107.

einen mit Quecksilber gefüllten Eisencylinder, der unter und nach aussen von dem Anker und den beiden zu magnetisirenden Eisenkernen senkrecht steht und von einer unter ihm befindlichen Schraube gehalten wird. In jenes taucht der untere Abschnitt des senkrechten Theiles eines rechtwinkelig gebogenen Platindrathes, dessen wagerechtes Stück auf der oberen Fläche des Ankers befestigt, jedoch von ihm durch ein Elfenbeinstück getrennt, mithin elektrisch isolirt ist. Dieser Draht geht daher mit dem Hammerspiele auf und nieder. Er bleibt immer mit seinem untersten Abschnitte im Quecksilber. Nr. 6 trägt ein anderes, von den beiden Drahtspiralen ebenfalls elektrisch gesondertes, seitliches Messingstück, das die später zu erwähnende Abblendungsgabel führt. Nr. 7 befindet sich an der (oberen) Stellschraube des Hammerwerkes. Der wagerechte Messingbalken, welcher die Schraubenmutter enthält, hat noch eine Schraubenklemme, in der man einen Nebendraht zu gewissen Zwecken befestigen kann. Er besitzt in einzelnen dieser Magnetelektromotoren einen Ansatztheil, der ein zweites Loch mit einem Gewinde für die Berührungsschraube enthält. Diese lässt sich daher so einstellen, dass z. B., wenn die erregende Kette geschlossen ist, der Berührungspunkt der Stellschraube von dem Anfange der Hammerfeder 10 oder 20 Millimeter entfernt liegt und der zwischen der Contaktstelle und dem äusseren Ankerrande befindliche frei schwingende Theil des Hammerwerkes eine Länge von 43 oder von 33 Millimetern hat. Die obere Fläche der Hammerfeder trägt daher zwei Platinblätter an den entsprechenden Berührungsorten. Man kann auf diese Weise sehen, wie jener Unterschied auf die Zahl der auf die Zeiteinheit kommenden Schliessungen und Oeffnungen, die Dauer und die Geschwindigkeit dieser Vorgänge und die eigenthümliche Ablenkung der Galvanometernadel, welche die kräftigeren Induktionsschläge erzeugen, einwirkt.

Nr. 8 und Nr. 9 sind zunächst für die Ableitung der inducirten Ströme bestimmt. Sie entsprechen daher den beiden Enden der erregten, der Induktionsspirale oder der Nebenrolle. Da aber hier bisweilen nicht blos zwei, sondern vier Drähte befestigt werden müssen, so hat jede der beiden Messingsäulen zwei Löcher

über einander. Die Klemmschrauben der unteren stehen wagerecht und die der oberen senkrecht. Ein querer Messingstift, der die eine Säule durchsetzt, kann so weit vorgeschoben werden, dass er die zweite Säule in einer Vertiefung berührt. Man hat daher die schon an vielen gewöhnlichen Magnetelektromotoren vorkommende Einrichtung, dass sich die Induktionsrolle rein metallisch schliessen lässt, um die Schläge von dem den thierischen Körper enthaltenden und dann eine Nebenschliessung grösseren Widerstandes bildenden Kreistheile eine beliebige Zeit abzuhalten.

Die eidgenössische Telegraphenwerkstätte hat die Nummern der Schrauben nach ihrer Stellung und nicht nach ihrer Bedeutung vertheilt. Sie gehen vorn von innen nach aussen, dann seitlich von unten nach oben und zuletzt hinten von rechts nach links. Die den Hammer führende Säule, welche den positiven Poldraht aufzunehmen pflegt, führt daher die Schraube Nr. 2 und nicht Nr. 1 und das dem Hammer nähere Ende der erregenden Rolle Nr. 4 und das entferntere Nr. 3.

Das Brett, welches die Vorrichtung trägt, besteht aus zwei gleichen Hälften von je 25 Centimetern Länge, die sich durch ein Charnier zusammenklappen lassen. Man hat daher keine zu lange Vorrichtung für die gewöhnlichen Fälle und kann doch die mit einer Messingfeder versehene Induktionsrolle beinahe 45 Centimeter hinausschieben, ohne dass ihr vorderster Theil aus dem Gleise hinaustritt und sie daher der inducirenden Rolle parallel zu bleiben aufhört.

Die Messingsäule, welche die Schraube Nr. 1 trägt, den von den Eisenkernen kommenden Theil der erregenden Spirale aufnimmt und den negativen Poldraht zu enthalten pflegt, trägt in den neueren, nicht aber in den älteren an Physiker und Physiologen abgegebenen Vorrichtungen [1]) eine Säule von Hartkautschuk. Diese führt wiederum oben einen Messingansatz für eine mit einer Platinspitze versehene Berührungsschraube, die auf- und niedergedreht und noch durch eine zweite Schraube regulirt werden

1) Die neue Anordnung kann an den älteren Magnetelektrometern nachträglich hergestellt werden.

kann. Die Hammerfeder hat daher ein Platinblättchen an der oberen Seite für die Berührungsstelle der oberen und eines an der unteren für die der unteren Berührungsschraube.

Wir werden sehen, dass diese nur mit der die Schraube Nr. 1 führenden Säule leitend verbunden oder von ihr isolirt und mit dem Anfange der erregenden Spirale jenseit des Hammerwerkes vereinigt werden muss, je nachdem man den Magnetelektromotor verschiedenartig gebrauchen will. Der obere Messingansatz, welcher die untere Berührungsschraube trägt, besitzt desshalb eine kleine Stahlschraube, die das obere Ende eines schraubenförmig eingerollten übersponnenen Kupferdrahtes metallisch anklemmt. Ebenso hat die die Schraube Nr. 1 führende Polsäule eine kleine Stahlschraube, welche das untere metallische Ende jenes Drahtes befestigt. Die Leitung von der Schraube Nr. 1 bis zur unteren Contaktschraube wird auf diese Weise hergestellt. Will man sie dagegen aufheben und die untere Berührungsschraube mit dem Anfange der erregenden Rolle jenseit des Hammerwerkes verbinden, so lüftet man die untere Stahlschraube und befestigt das untere Ende des kleinen Kupferdrahtes in der Klemme, die sich hinter der oberen Berührungsschraube Nr. 7 befindet.

Die aus Neusilber verfertigte Abblendungsgabel, die mit der Schraube Nr. 6 metallisch zusammenhängt, muss mit besonderer Aufmerksamkeit angefertigt und behandelt werden. Eine steifere Art findet sich in allen älteren, und eine biegsamere in einem der neueren Magnetelektromotoren. Beide können ihren Zweck erfüllen. Die biegsamere gewährt den Vortheil, dass das Hammerwerk auch bei schwächeren Strömen in Gang bleibt, wenn eine der beiden Platinkanten dem Hammerdrahte anliegt, um einen der zwei Induktionsströme abzublenden. Sie gibt dagegen leicht störende Nachschwingungen, die besonders bei der Abblendung der Oeffnungsströme unangenehm werden.

Die steifere Gabelform ist an dem hinteren Ende der oberen Fläche des zu Nr. 6 gehörenden Messingstückes befestigt. Ein schmales und langes Neusilberblech geht zuerst eine kurze Strecke nach vorn und oben und setzt sich dann in ein längeres wagerechtes

Stück unter einem stumpfen Winkel fort. Es theilt sich hierauf in zwei wagerechte Blätter, von denen jedes ein vorstehendes, in eine nicht ganz kurze Kante auslaufendes, also prismatisch gestaltetes Platinstückchen an seiner Innenseite trägt. Der Eine der beiden Gabelarme steht über dem wagerechten Theile des mit dem Anker verbundenen und in das Quecksilber tauchenden Platindrahtes und der andere unter ihm. Die zwei Kantenstücke liegen von ihm im Ruhezustande entfernt. Eine Schraube machte es möglich, dass man die Gabel höher oder tiefer stellt und dabei das obere oder das untere Kantenstück in metallische Berührung mit dem Platindrahte bringt.

Ich habe die Einrichtung in neuester Zeit so verändert, dass die Innenflächen der beiden Gabelstücke glatt sind, der wagerechte Theil des Platindrahtes aber eine Berührungsspitze oben und eine unten trägt. Wir werden sehen, dass sich diese Anordnung als die verhältnissmässig vortheilhafteste bewährt hat.

Die älteren Magnetelektromotoren enthalten eine Hammerfeder von Aluminium, die neueren eine solche von Neusilber. Obgleich sie ziemlich steif ist, so geht sie doch schon durch ein sehr kleines, mit gesättigter Kochsalzlösung geladenes Zinkkohlen-Element. Verbinde ich Nr. 1 und Nr. 2 mit einer Noë'schen Thermosäule von 20 Elementen neuester Construktion und heize nicht mit der dieser Vorrichtung beigegebenen Lampe, sondern mit der kleinen Flamme einer gewöhnlichen Weingeistlampe, so beginnt das Spiel des passend eingestellten Hammerwerkes von selbst ungefähr eine Minute nach der Erwärmung. Es arbeitet noch eine gute Minute fort, nachdem man die Flamme eine Minute später ausgelöscht hat. Heizt man drei Minuten, so bleibt der Magnetelektromotor noch 2 bis 3 Minuten nach dem Aufhören der Erwärmung thätig. Der Wechsel des Tones zeigt oft an, dass diese Nachwirkung eine unregelmässige Hammerbewegung für einzelne Augenblicke gibt. Der Gebrauch solcher Thermosäulen bei der ärztlichen Anwendung der Inductionsströme der Magnetelektromotoren hätte das Angenehme, dass man vor den schädlichen Wirkungen der Säuren oder anderer gefährlicher Körper der sonst nöthigen Batterie bewahrt bliebe. Man darf aber dabei zwei Umstände nicht übersehen. Einen zu

starke Heizung verdirbt die Thermosäule. Sie setzt auch den Wärmeunterschied der beiden an den Löthstellen verbundenen Erreger bei zu langer Dauer allzusehr herab.

Ich kann noch bei einem der von mir gebrauchten Magnet-Elektromotoren die gewöhnliche Feder mit einer einfachen dünneren und biegsameren oder mit einer Halske'schen vertauschen, den Gang des Hammerwerkes hierdurch erleichtern und die Zahl der auf die Zeiteinheit kommenden Schliessungen und Oeffnungen vergrössern.

Ein anderer Gedanke, das Hammerspiel beliebig zu ändern, wurde nicht ausgeführt, um nicht die Vorrichtung allzu plump zu machen. Denken wir uns, der Theil des erregenden Drahtes, welcher die Eisenkerne umwindet, bestünde z. B. aus drei Spiralen, deren beide Enden in Schraubenstücke ausliefen, in denen man Verbindungsdrähte festklemmen könnte. Benutzte man nur eine Spirale, so würde das Hammerwerk schwerer in den Gang gesetzt, als wenn man zwei gebrauchte und in diesem Falle schwerer, als wenn man den erregenden Strom durch alle drei gehen liesse. Die stärkere Magnetisirung der Eisenkerne beschleunigte auch den Niedergang des angezogenen Ankers.

Der Magnetelektromotor kann zunächst wie ein gewöhnlicher Schlittenapparat dienen. Wir wollen die übrigen Möglichkeiten, die er gestattet, unter Rubriken betrachten, die den einzelnen Hauptzwecken entsprechen, damit man sogleich die nöthige Anweisung vorkommenden Falles finden könne.

### 1) Benutzung des Extrastromes.

Da die Schrauben Nr. 3 und 4 den beiden jenseit des Hammerwerkes liegenden Endtheilen der erregenden Rolle entsprechen, so befestigt man in ihnen die Leitungsdrähte des den thierischen Theil enthaltenden Kreises, wenn man mit dem Extrastrome arbeiten will. Man darf jedoch dabei nicht übersehen, dass man zugleich einen Nebenzweig des den Magnetelektromotor treibenden Stromes, der sich fortwährend mit dem Spiele des Hammerwerkes schliesst und öffnet, ableitet. Diese schon an manchen älteren Magnetelektromotoren angebrachte Einrichtung macht es auch mög-

lich, den Einfluss, welchen der Induktionsstrom und der Extrastrom der Induktionsrolle auf den Extrastrom der inducirenden ausüben, kennen zu lernen. Man wählt zu diesem Zwecke eine Stromstärke des Extrastromes, welche die grösste Muskelzusammenziehung des Froschpräparates noch nicht gibt, und stellt einen Versuch mit dem Aufschreiben der Muskelcurve an, während die beiden Rollen vollständig zusammengeschoben sind und einen zweiten, nachdem man die Induktionsrolle gänzlich fortgenommen, sei es, dass man das Hammerwerk gehen lässt, also tetanisirt, oder die Schliessung und die Oeffnung des erregenden Kreises mittelst des später zu beschreibenden Punktschliessers gesondert vornimmt.

2) Schwächung des Induktionsstromes.

Der Schlitten-Magnetelektromotor verdankt seine allgemeine Verbreitung der Möglichkeit, die Stärke der Induktionsströme durch das Entfernen der erregten Rolle von der erregenden stetig herabzusetzen. Man könnte sie natürlich auch durch die Einschaltung von Widerständen in den erregenden oder den erregten Kreis eines beliebigen Magnetelektromotors sprungweise bei dem Gebrauche eines festen und allmählig bei dem eines flüssigen Rheostaten verkleinern. Die uns hier beschäftigende Vorrichtung gewährt noch ein drittes Mittel, das für manche physiologische Untersuchungen bequem sein dürfte.

Verbindet man einen Rheostaten mit Nr. 3 und Nr. 4, so stellt man eine Nebenschliessung für die erregende Rolle her. Der inducirende Strom und mithin auch der inducirte wird um so schwächer ausfallen, je weniger Widerstand man durch den Rheostaten einschaltet, eine je geringere Stromstärke also für die erregende Rolle übrig bleibt. Die Funkenbildung bei der Lostrennung der Hammerfeder von der Berührungsschraube nimmt hier (und noch mehr bei der Einschaltung eines passenden Widerstandes in den erregenden Kreis) ab. Ein Beispiel möge zeigen, wie sich die Verhältnisse der praktischen Verwerthung gestalten.

Ich stellte für diese und alle noch zu erwähnenden Beobachtungen eine Art von Froschpräparat dar, die sich zu allen Reizversuchen der unversehrten Nerven eignet, und die ich mit dem

Namen eines Hüftgeflecht-Präparates bezeichne. Man durchschneidet das verlängerte Mark, zerstört das Gehirn mit einem Stifte, trennt den untersten Theil der Wirbelsäule der Quere nach, zermalmt den über ihm liegenden Abschnitt des Rückenmarkes und entfernt den Kopf, den Rumpf mit den Vorderbeinen und die sämmtlichen Eingeweide, so dass das Präparat nur aus den untersten Wirbeln, dem Becken und dessen Weichgebilden und den Hinterbeinen besteht. Will man die Muskelcurven aufschreiben lassen, so legt man die Achillessehne des einen Hinterbeines bloss, schneidet alle Theile des Unterschenkels ausser ihr durch, entfernt die untere Hälfte des Fusses und enthäutet die obere, damit man sie leichter an den Haken des Myographions befestigen könne. Das Präparat wird dann auf einer an einem Brette angeschraubten Korkplatte mit Nadeln so angestochen, dass es sich mit alleiniger Ausnahme des senkrecht gestellten Wadenmuskels nicht verrücken kann. Das Brett selbst lässt sich in dem wagerechten Arme eines Stativs an einer beliebigen Stelle festklemmen. Zwei Einstichsnadeln, welche die Enden der beiden Leitungsdrähte der erregenden Kette bilden, kommen in die Gegend des Hüftgeflechtes.

Ist auch das Myographion vor dem Anfange des Versuches möglichst genau aequilibrirt worden, so hört dieses doch auf, wenn man die Stellung der Schreibspitze für die Aufzeichnung der Muskelcurven ändert. Abgesehen hiervon belaste ich noch den unteren Haken des Myographion mit 5 oder 10 Grm., weil man nur dann richtige Curven erhält, wenn der Muskel bis zu einem gewissen Grade gedehnt wurde.

Hatte man den Rheostaten ohne jede Widerstandsrolle desselben eingeschaltet, so dass nur dessen freie Metalltheile die Leitung vermittelten, so klebte der Anker des Hammerwerkes an den durch die Schliessung der erregenden Kette magnetisch gewordenen Eisenkernen an, weil der Strom, dessen positiver Theil bei Nr. 2 eintrat, fast gänzlich durch die Nebenschliessung floss, die einen weit geringeren Leitungswiderstand als die erregende Spirale entgegensetzte. Dasselbe wiederholte sich, wenn der durch den Rheostaten eingeschaltete Widerstand 2 oder 3 Siemens'sche Einheiten betrug. Es hing von der Einstellung der oberen Berührungsschraube und

der Entfernung des Ankers von den Eisenkernen ab, ob dieser anklebte oder die von ihnen verhältnissmässig weit abstehende Feder in grossen Bogen hämmerte, so wie man 4 Siemens'sche Einheiten gebrauchte. Die Arbeit des Hammerwerkes ging von 5 Siemens'schen Einheiten an, wie gewöhnlich, vor sich.

Ein kleines, mit gesättigter Kochsalzlösung geladenes Zink-Kohlenelement gab z. B., wenn die Muskelcurven unter ungefähr doppelter Vergrösserung aufgeschrieben werden:

| Versuchs-nummer | Eingeschalteter Widerstand in Siemens'schen Einheiten | Grösste senkrechte Ordinate der aufgeschriebenen Tetanisationscurve |
|---|---|---|
| 1 | 5 | 14 |
| 2 | 6 | 16 |
| 3 | 10 | 20 |
| 4 | 50 | 22 |
| 5 | 100 | 22 |
| 6 | 4000 | 22 |
| 7 | 100 | 22 |
| 8 | 50 | 21 |
| 9 | 10 | 18.5 |
| 10 | 6 | 10 |

Die Induktionsschläge wirkten immer während einer Umdrehung des Aufschreibecylinders. Diese wiederholte sich 11 Mal in der Minute. Sie nahm also je $5^1/_2$ Sekunden in Anspruch. Die Zeit, die zwischen zwei Reizungen verfloss, dauerte nur so lange, als nöthig war, die Messung an der Tetanisationscurve vorzunehmen, den Rheostaten und das Myographion einzustellen, und die Zeitabscisse aufschreiben zu lassen. Ich maass nicht die erste, meist über die übrige Tetanisationscurve hinausgehende und sogleich wiederum abfallende Erhebung, weil sie zum Theil von dem raschen Aufwerfen des Schreibstiftes und nicht allein von der Muskelzusammenziehung herrührt, [1]) sondern die spätere grösste Entfernung von der

1) Schreibt man die Muskelwirkung nicht auf einem sich drehenden Cylinder oder einer bewegten Scheibe, sondern auf einer ruhenden Platte auf, so dass man nur die grössten Hubhöhen erhalten will, so droht die Irrthumsquelle, dass man eine zu lange Linie erhalte und zwar umsomehr, je geschwinder sich die Muskel zusammenzieht, je kräftiger er den Schreibstift emporwirft.

Zeitabscisse, die sich oft erst allmählig herstellt. Die erste und die letzte der oben erwähnten Curven enthielten einzelne Hebungen und Senkungen, die von dem nicht ganz gleichartigen (für kleine Zwischenzeiten verhältnissmässig länger unterbrochenen) Gange des Hammerwerkes herrührten.

3) Verdoppelung der Zahl der Induktionsschläge.

Eine tiefere Hammerstellung, so dass der Anker den Eisenkernen näher liegt und diese daher auf ihn in magnetisirtem Zustande kraftvoller wirken, der Halske'sche Hammer, der dasselbe durch seine federnde Nebenplatte erreicht, machen es möglich, die Zahl der auf die Zeiteinheit kommenden Schliessungen und Oeffnungen zu vergrössern und daher auch die physiologische Wirkung zu erhöhen. Allein der Schluss und die Oeffnung der erregenden Kette kommen nur zu Stande, wenn der gewöhnliche Hammer oder die obere Feder des Halske'schen Hammers ihre höchste Stellung einnehmen. Hat einmal die Oeffnung des erregenden Kreises stattgefunden, so ist der übrige Niedergang des Hammerwerkes verlorene Arbeit. Der Schluss und die Oeffnung der Kette werden erst nach einer vollen Pendelschwingung des Hammers, nach einem Nieder- und nach einem Aufgange herbeigeführt. Der hier betrachtete Magnetelektromotor gestattet es, die Inductionsströme schon nach einer halben oder einfachen Hammerschwingung von Neuem herzustellen.

Man lässt den kleinen Kupferdraht nur in seinem oberen, mit der unteren Berührungsschraube metallisch verbundenen Ansatze, löst ihn dagegen von seinem Zusammenhange mit der zweiten Polsäule, welche die Schraube Nr. 1 führt, und befestigt dieses freigemachte Drahtende in der Schraubenklemme, die sich neben der oberen Berührungsschraube Nr. 7 befindet. Die untere Stellschraube wird dann so weit in die Höhe gedreht, dass der Hammer ihre Platinspitze bei seinem Niedergange berührt. Man schraubt sie zuerst bei ruhendem Hammerwerke hinauf, bis sie an das an der Unterfläche der Hammerfeder befindliche Platinblättchen stösst. Wird jetzt der erregende Strom geschlossen, so klebt der Anker, wenn er nicht zu weit von den Eisenkernen absteht und die Ham-

merfeder biegsam genug ist, an jenen an. Schraubt man nun die untere Stellschraube ein wenig zurück, so hat man Alles, was nöthig ist. Würde die obere Stellschraube wie zu dem gewöhnlichen Gange eingestellt, so fliesst hier der Strom, wenn er z. B. mit seinem positiven Theile in die rein metallische Säule eintritt (Nr. 2), wie bei den gewöhnlichen Magnetelektromotoren, von jener in die Feder des Hammerwerkes und aus ihr in die obere Berührungsschraube, die erregende Rolle und die Drahtwindungen, welche die Eisenkerne umgeben, und kehrt durch die zweite Polsäule (Nr. 1) zu dem erregenden galvanischen Elemente zurück. Erreicht dann die Hammerfeder das Ende ihrer einfachen oder halben Pendelschwingung, so schliesst der Anschlag an die untere Berührungsschraube den Kreis von Neuem. Der Strom geht dann von der positiven Polsäule (Nr. 2) durch die Hammerfeder, die untere Berührungsschraube und deren Ansatzstück, den kleinen Kupferdraht, die erregende Rolle, die die Eisenkerne umgebenden Windungen und die zweite Polsäule (Nr. 1), die jetzt von der unteren Stellschraube und deren Ansatzstück elektrisch isolirt ist, also in derselben Richtung, wie früher. Man sieht hieraus, wesshalb ich ein Stück von Hartkautschuck zwischen beiden einschalten liess.

Die untere Berührungsschraube wird am Besten so eingestellt, dass sich die Zahl der Induktionsschläge nahezu verdoppelt. Man lässt zu diesem Zwecke das Hammerwerk gehen und schraubt die untere Berührungsschraube empor, bis die Feder an sie in ihrer tiefsten Stellung anschlägt. Dieses Verfahren kann von Nutzen sein, wenn man nachsehen will, wie sich die physiologische Wirkung ändert, wenn die Menge der auf die Zeiteinheit kommenden Schläge auf das Zweifache wächst. Hat man zuerst den Magnetelektromotor, wie gewöhnlich, gehen lassen, dann die untere Berührungsfeder auf die oben beschriebene Weise eingestellt und zuletzt die obere Berührungsschraube noch etwas heruntergeführt, so vergrössert man hierdurch die Zahl der Schliessungen und Oeffnungen, welche auf Zeiteinheit kommen und verdoppelt diesen erhöhten Werth durch die Einführung zweier Berührungsschrauben. Die physiologische Wirkung nimmt dann aus zweifachem Grunde zu.

Ein Beispiel möge zeigen, wie eine nahezu genaue Verdoppelung der Schläge auf das Hüftgeflechtpräparat eines Frosches und die hierdurch erzeugte Zusammenziehung des Wadenmuskels wirkte, wenn ein kleines, mit gesättigter Kochsalzlösung geladenes Zinkkohlenelement das Hammerwerk des Magnetelektromotors in Bewegung setzte.

| Versuchsnummer | Entfernung d. hinteren Endes der Induktionsrolle von dem vorderen der inducirenden Rolle in Centimetern | Grösste aufgezeichnete Hubhöhe in Millimetern bei | |
|---|---|---|---|
| | | Einfachen Schlägen | Doppelten Schlägen |
| 11 | 7.5 | 8 | 11 |
| 12 | 5.0 | 11 | 13 |
| 13 | 3.0 | 14 | 14 |
| 14 | ganz zusammengeschoben | 14.5 | 15 |

Es ist mir in solchen Versuchen vorgekommen, dass Wadenmuskeln, die früher ähnliche Unterschiede zwischen den Einwirkungen von einfachen und von doppelten Schlägen dargeboten hatten, sie selbst für schwache Ströme nicht mehr zeigten, wenn ich vorher die Reizbarkeit des Hüftgeflechtes durch die Erregung mit starken Wechselströmen des Magnetelektromotors merklich herabgesetzt hatte.

4) Möglichste Gleichmachung der physiologischen Wirkungen des Schliessungs- und des Oeffnungsschlages.

Der hier betrachtete Magnetelektromotor gibt zwei Mittel an die Hand, dieses Ziel, dessen genaue Herstellung sich schon theoretisch als unmöglich erweist, [1]) mehr oder minder annähernd zu erreichen.

a. Man kann zunächst die von Du Bois[2]) beschriebene Einrichtung von Siemens und Halske, welche die ursprüngliche Anordnung von Helmholtz ersetzt, nachbilden. Man lässt die zweite Polsäule

1) Du Bois Monatsberichte der Berliner Akademie. Aus dem Jahre 1862. Berlin 1863. 8. S. 395.

2) Du Bois ebendaselbst S. 390.

(Nr. 1) mit dem oberen Ansatzstücke durch den kleinen Kupferdraht metallisch verbunden, führt die obere Berührungsschraube hinauf, bis an sie die Hammerfeder nie anschlagen kann, stellt die untere so ein, dass die Feder im Ruhezustande von ihrer Platinspitze entfernt bleibt, sie diese dagegen berührt, wenn der durchgehende Strom die Eisenkerne magnetisch macht und der Anker hinabgezogen wird, und befestigt einen nicht zu dünnen und nicht zu langen Metalldraht einerseits in dem Schraubenloche der die Hammerfeder führenden Metallsäule (Nr. 2), die zugleich den einen Poldraht des erregenden galvanischen Elementes aufnimmt, und anderseits in dem Schraubenkopfe, der sich neben der oberen Berührungsschraube (Nr. 7) befindet, oder in der dem Anfange der Induktionsrolle entsprechenden Schraube Nr. 4. Geht jetzt der erregende Strom durch, so ziehen die magnetisch werdenden Eisenkerne den Anker an und führen die bisher frei schwebende Hammerfeder hinab, bis sie die Platinspitze der untern Contaktschraube berührt.

Eine Nebenschliessung von verhältnissmässig sehr geringem Leitungswiderstande wird hierdurch vervollständigt. Sie besteht aus der den Hammer tragenden Polsäule (Nr. 2), dem Theile der Hammerfeder, der zwischen ihr und dem Berührungspunkte der Spitze der unteren Contaktschraube liegt, dieser, ihrem Ansatzstücke, dem kleinen Kupferdrahte und der zweiten Polsäule (Nr. 1). Ein nur noch sehr schwacher Stromtheil bleibt daher für die erregende Rolle. Ueberwindet dagegen die elastische Rückwirkung der Hammerfeder die Anziehung, welche die Elektromagnete auf den Anker ausüben, so öffnet sich die Nebenschliessung. Der Strom ergiesst sich mit voller Stärke durch die die Hammerfeder tragende Polsäule (Nr. 2), den eingeschalteten Verbindungsdraht, der zur Klemme neben der oberen Berührungsschraube Nr. 7 oder zur Schraube Nr. 4 geht, die erregende Rolle, die die Eisenkerne umgebenden Windungen und die zweite Polsäule (Nr. 1). Folgt ein neuer Schluss, so wirkt dieser insofern ähnlich einer Oeffnung für den vollständigen Kreis, der während der Entfernung der Hammerfeder von der unteren Berührungsschraube vorhanden war, als die Stärke des ihn durchsetzenden Stromes von seiner grössten Höhe

auf einen kleinen Werth herabsinkt. Der hierbei in der erregenden Spirale entstehende Oeffnungsextrastrom fliesst in die Nebenleitung, verlangsamt hierdurch das Sinken des erregenden Stromes und daher auch die Abnahme des Oeffnungs-Induktionsstromes in der inducirten Rolle.

Der Schliessungs- und der Oeffnungs-Induktionsstrom werden auf diese Weise wesentlich schwächer, so dass man z. B. keine Spur von Empfindung hat, wenn man die beiden Enden der Leitungsdrähte der Induktionsrolle an die Zungenspitze bringt, während das Hammerwerk arbeitet und die Rollen des Magnetelektromotors gänzlich zusammengeschoben sind. Der hier vermöge seiner langsameren Abgleichung physiologisch weniger wirkende Oeffnungs-Induktionsstrom nähert sich in dieser Hinsicht dem entsprechenden Schliessungs-Induktionsstrome, der sich ebenfalls wie gewöhnlich, langsamer abgleicht, weil die Oeffnung der Nebenschliessung, die als Schliessung für die inducirende Spirale wirkt, die volle Wirksamkeit des Schliessungs-Extrastromes der erregenden Rolle gestattet.

Man sieht zugleich, dass sich die Verhältnisse noch in einer zweiten Beziehung im Vergleiche mit dem gewöhnlichen Gange des Hammerwerkes umkehren. Die Anziehung, welche die Elektromagnete auf den Anker ausüben, entfernt die Hammerfeder von der Berührungsspitze bei der gebräuchlichen Anordnung. Sie bringt dagegen beide in unserem Falle zusammen. Diese Berührung der unteren Contaktschraube und der Hammerfeder vervollständigt die Nebenschliessung und wirkt daher nach Art einer Oeffnung für die erregende Rolle.

Die beschriebene Einrichtung hebt nur dann alle Wirkung auf unsere Zunge in den kräftigeren Exemplaren des Magnetelektromotors auf, wenn das ihn treibende Element schwach ist oder man die beiden Rollen von einander entfernt hat. Man wird sie daher auch bei dem Menschen zu ärztlichen Zwecken anwenden können.

Spürt aber die Zunge nicht das Geringste, wenn die beiden Rollen vollkommen zusammengeschoben sind, so reichen doch noch die schwachen sich erzeugenden Induktionsschläge hin, den Nerven eines Froschpräparates [1]) oder das unversehrte, mit Einstichsnadeln

---

1) Du Bois a. a. O. S. 398—402.

gereizte Hüftgeflecht in Thätigkeit zu setzen. Sie wirken noch, wenn noch die Induktionsrolle weit hinausgeschoben worden. Versuche der Art lehren aber, dass sich manche Bedenken dem sichern Gebrauche dieser Einrichtung zur Tetanisation mit gleich starken Strömen entgegenstellen.

Ich schaltete einen Stromwender mit Punktberührung in den Induktionskreis ein, stach die beiden Nadeln, welche die Enden der Leitungsdrähte bildeten, in das Hüftgeflecht des Frosches und schraubte die untere Berührungsschraube so weit zurück, dass der Magnetelektromotor nach der Schliessung des erregenden Kreises nicht hämmerte, man aber die Feder mit dem Finger oder durch ein auf den Anker gelegtes Gewicht bis zur Berührung der Platinspitze herunterdrücken konnte. Alles wurde dann vorbereitet, die Muskelcurven aufzuzeichnen. Ich liess hernach die erregende Kette fortwährend geschlossen, schob die Induktionsrolle möglichst weit hinaus, schloss den Stromwender des Induktionskreises, zeichnete die Zeitabscisse auf dem in $5^1/_2$ oder in $^1/_2$ Secunde einmal herumgehenden Cylinder, hemmte die Bewegung von diesem, zog die Zeichenspitze des Myographion zurück, schob die inducirte Rolle streckenweise gegen die inducirende, berührte die Hammerfeder mit der Platinspitze der unteren Berührungsschraube und sah auf diese Weise immer nach, ob ich die physiologische Wirkungsgrenze getroffen hatte. War sie erreicht, so liess ich die Muskelcurven auf dem sich drehenden Cylinder aufschreiben.

Stellt man eine grössere Zahl solcher Versuche an den Hüftgeflechtpräparaten verschiedener Frösche an, so stösst man auf die mannigfachsten Ergebnisse. Man erhält oft genug den vollkommen correkten Fall, dass die Wirkungen des Schliessungs- und die des Oeffnungsstromes bei gleichem Rollenabstande eintreten und die Erhebungen der Schreibspitze, so weit es sich mit blossem Auge beurtheilen lässt, gleich ausfallen. Ich liess dann die zwei Muskelcurven dicht neben einander aufzeichnen, indem ich die Nebenschliessung wiederum öffnete, nachdem der Cylinder einen einzigen Umgang seit dem Schlusse derselben gemacht hatte. Obwohl die Theorie die Unmöglichkeit der völligen Gleichmachung des Oeffnungs- und des Schliessungs-Schlages nachweist, so erhält man doch

in glücklichen, keineswegs seltenen Fällen, zwei Muskelcurven nicht nur von gleicher grösster Ordinatenlänge, sondern auch von scheinbar congruenter Form der Begrenzungen und daher auch des eingeschlossenen Flächeninhaltes. Man darf jedoch nicht vergessen, dass die Reibung des Schreibstiftes gegen den bewegten Cylinder die Wiedergabe mancher feineren Einzelnheiten hindert, welche z. B. die Aufzeichnung mit dem elektrischen Funken darlegt. Man kann die scheinbare Congruenz bei dem Gebrauche der Einstichsnadeln erhalten, ohne dass man nöthig hat, den Stromwender vor der Einwirkung des (entgegengesetzt gerichteten) Oeffnungsschlages umzukehren. Dieses wird erst hin und wieder nöthig, wenn der Nerv schon häufig mit den elektrischen Strömen misshandelt worden.

Die mannigfachsten Ergebnisse schalten sich aber meistentheils zwischen solchen gelungenen Versuchen ein. Es kommt vor, dass die Zuckung, welche der Schluss der Nebenleitung erzeugt, eine andere gegenseitige Entfernung der beiden Rollen fordert, als die, welche die Oeffnung von jener anregt, dass man bei einem und demselben Abstande nur eine Schliessungs- oder nur eine Oeffnungszuckung erhält; endlich dass sich eine völlige Wirkungslosigkeit zwischen zwei positiven Ergebnissen kund gibt.

Da diese verwirrenden Erscheinungen davon herrühren konnten, dass die Art des Schlusses und der Oeffnung durch den Finger oder das Gewicht von einem zum anderen Male wechselte, so änderte ich die Herstellung der Nebenschliessung. Ich hatte kein Hämmern der Feder zu diesen Prüfungen nöthig. Ich verzichtete auf ihre Mitwirkung gänzlich und führte einen von der einen Polsäule (Nr. 2) kommenden Draht zu der ersten Klemme des später zu beschreibenden Punktschliessers und einen mit der anderen Polsäule verbundenen zur zweiten Klemme desselben. Obgleich hier der Schluss und die Oeffnung gleichartiger ausfielen, so blieben doch die Widersprüche in den Wirkungen vollkommen dieselben. Das Gleiche wiederholte sich, als ich die Schliessung und die Oeffnung der Nebenleitung nicht von freier Hand vornähm, sondern durch den sich drehenden Cylinder, auf den ich die Muskelcurve aufzeichnete, mittelst der Anschlagsvorrichtung herstellen liess. Die Vertauschung des kleinen Elementes mit mehreren grösseren, die Be-

schränkung der Funkenbildung an der Berührungsspitze durch die Einschaltung stärkerer Widerstände in den erregenden Kreis oder die Einfügung von ihnen in eine Nebenschliessung, die zuerst mit einem kleinen Widerstande versucht wurde, beseitigte die Schwankungen nicht.

Zwei Ursachen können ihnen zum Grunde liegen. Der Froschnerv bildet ein so empfindliches Reagens für die Unterschiede der Abgleichungsgeschwindigkeiten, dass selbst die Schliessung von todter Hand, geschweige denn die, welche wir mit unseren Fingern vornehmen, von einem zum andern Male ungleich genug ausfallen, um durch die Nervenwirkungen angezeigt zu werden. Die Hauptursache rührt aber davon her, dass ein jeder durchgehende Strom den Nerveninhalt zersetzt, daher die Stimmung derselben ändert, und dieser Wechsel einen grösseren Einfluss auf die Erfolge sehr schwacher, als auf die starker Ströme ausübt.

Will man die Antworten, welche die unmittelbare Muskelreizung gibt, mit denen, welche die Nerven ertheilen, vergleichen, so muss man die Leitungswiderstände im Auge behalten. Ich führe die Leitungsdrähte der erregenden Batterie zu einem ersten Stromwender und verbinde eine Ausgangsklemme derselben mit der Polsäule Nr. 2 unmittelbar und die andere durch einen Schliesser mit der Nr. 1 des Magnetelektromotors. Die zwei Enden der Induktionsrolle Nr. 8 und Nr. 9 entlassen Drähte, die sich zu einem zweiten Stromwender begeben. Jede der beiden Ausgangsklemmen von diesem führt zwei Drähte, die zu zwei Schliessern gehen. Man hat also im Ganzen 5 Schliesser und zwei Stromwender einzuschalten. Zwei der zuletzt genannten vier Schliesser führen die Drähte der Einstichsnadeln in das Hüftgeflecht des Frosches, dessen sämmtliche Vordertheile bis zu dem vorletzten Wirbel entfernt worden. Der dritte Schliesser enthält den Draht, der die Einstichsnadel in den untersten Theil des Oberschenkels dicht über dem Ansatze des Wadenmuskels trägt und der vierte einen Draht, der zu einer Klemme der einen Säule des Myographions geht. Man kann auf diese Weise den erregenden oder den Induktionsstrom umkehren, und jenen durch den ersten Schliesser oder durch das Hammerwerk schliessen und öffnen lassen. Sind die zwei ersten

von den vier Schliessern geschlossen, so fliesst der Inductionsstrom durch das Hüftgeflecht. Oeffnet man sie und schliesst die zwei letzten der vier Schliesser, so verläuft der Strom durch das Myographion, den Fuss, die Achillessehne und den Wadenmuskel unmittelbar.

Die Empfindlichkeit des Hüftgeflechtpräparates lässt sich auf zweierlei Weise prüfen:

1) Man schiebt die Induktionsrolle so weit hinaus, dass jede Zuckung mangelt und nähert sie wiederum langsam der erregenden Rolle, bis die erste schwache Zusammenziehung zum Vorschein kommt, wenn man den erregenden Kreis mittelst des in ihn eingeschalteten Schliessers vervollständigt oder unterbricht.

2) Besitzen die Ströme eine geringe Stärke, so erzeugt die Thätigkeit des Hammerwerkes keinen anhaltenden Starrkrampf, sondern schwache Wechselkrämpfe. Man nähert zuerst die weit ausgeschobene Induktionsrolle der inducirenden so sehr, dass diese Art von Wirkung aufzutreten anfängt. Fährt man hierauf mit der Annäherung fort, so erhalten sich zuerst die Wechselkrämpfe. Sie machen erst später einem Starrkrampf bei einer gewissen grösseren Stärke der Induktionsströme Platz.

Die äussersten Grenzen dieser beiden Arten der Wirksamkeit pflegen nicht weit von einander zu liegen, wenn man die Ergebnisse wechselseitig vergleicht, welche die gewöhnliche Hämmerthätigkeit und die, welche die Nebenschliessung und die Benutzung der unteren Berührungsschraube liefern.

Hat man das Ganze, so wie es oben dargestellt worden, eingerichtet, so antwortet z. B. die Nervenreizung schon bei einem Abstande der Induktionsrolle von 22 Centimetern, die unmittelbare Erregung des Muskels dagegen erst bei einem solchen von 14 Cm. Man würde irren, wenn man hieraus schliessen wollte, dass die unmittelbare Muskelreizung unempfindlicher, als die Nervenerregung sei. Das Scheinergebniss, das man erhalten hat, rührt nur von dem grösseren Leitungswiderstande des Wadenmuskels her.

Ich beseitige den Uebelstand in einfacher Weise. Die Nadel des zweiten der vier Schliesser, die früher im Hüftgeflechte haf-

tete, kommt jetzt in die Achillessehne des zweiten, nicht mit dem Myographion verbundenen Wadenmuskels. Eine andere mit einem Kupferdrahte zusammenhängende Einstichsnadel wird in dem oberen Ansatz des Wadenmuskels festgesteckt, die zweite Nadel des Kupferdrahtes hingegen in das Hüftgeflecht. Der Strom, welcher dieses durchsetzt, geht also jetzt durch den zweiten Wadenmuskel. Der Widerstand, den der zwischen den beiden Einstichsnadeln befindliche Theil des Hüftgeflechtes und deren Nachbargebilde erzeugen, wird bei der unmittelbaren Muskelreizung durch den, der an den Hacken des Myographions befindlichen Fusshälfte ersetzt. Arbeitet man mit dieser Anordnung, so zeigt sich die unmittelbare Muskelreizung empfindlicher, als die Nervenerregung.

Der direkt angesprochene Wadenmuskel von Winterfröschen lieferte denselben Gang der Erscheinungen, wie die Reizung des Hüftgeflechtes. Aenderte man die von der Entfernung der Wirkungslosigkeit ausgehende Rollenstellung, so erhielt man zuerst blosse Oeffnungswirkungen, die allmählig zunahmen. Schwächere Schliessungserfolge kamen später hinzu. Sie vergrösserten sich nach und nach, bis endlich der Schluss und die Oeffnung nahezu congruente Muskelcurven ohne Unterschied der einwirkenden Stromesrichtung lieferten. Die Oeffnungserfolge erhielten meist wiederum das Uebergewicht, wenn die Rollen grösstentheils oder gänzlich zusammengeschoben waren. Die Schwankungen schienen etwas seltener als bei der Nervenerregung aufzutreten. Sie machten sich aber immer noch häufig genug und nachdrücklich geltend.

Man sieht hieraus, dass man nicht berechtigt ist, die Gleichheit der Schliessungs- und der Oeffnungswirkungen bei der Tetanisation vorauszusetzen, wenn sie auch eine einzelne Schliessung und Oeffnung bei der gebrauchten Stromstärke gegeben hat. Die Beobachtung der ersten der besten Schwankungsreihe führt vielmehr zu der subjektiven Ueberzeugung, dass sich Ungleichheiten genug bei der Tetanisation einschalten werden.

b. Es ist schon an einem andern Orte[1]) ausführlich erläutert worden, wie man die annähernde Gleichmachung dadurch erreichen

1) Die physikalische Untersuchung der Gewebe. Leipzig und Heidelberg 1867. 8. S. 564—570.

kann, dass man den Strom eines schwächeren galvanischen Elementes durch die inducirende Spirale anhaltend gehen lässt. Man braucht also nur die Poldrähte derselben mit Nr. 3 und Nr. 4 zu verbinden. Die Wirkung tritt ein, der Nebenstrom mag mit dem erregenden Strome gleich oder entgegengesetzt gerichtet sein. Ist jenes der Fall, so wird die erregende Rolle im Augenblicke des Hammerschlusses von einem Strome durchsetzt, dessen Stärke von der Summe der Stromstärken der beiden thätigen ungleichen Elemente abhängt. Die Oeffnung des Hammerwerkes lässt den erregenden Strom auf Null sinken. Der Nebenstrom durchsetzt aber immer noch die inducirende Rolle, so dass hier kein Nullpunkt der Stromstärke zu Stande kommt. Verläuft dagegen der Nebenstrom in entgegengesetzter Richtung, wie der Hauptstrom, dessen Weg wir als positiv ansehen wollen, so führt diesen die Hammeröffnung auf Null. Die negative Stromesrichtung des Nebenelementes bleibt aber in der erregenden Rolle.

Man kann sich an Froschpräparaten überzeugen, dass es nicht der durch das Nebenelement eingeführte grössere Widerstand der Nebenschliessung der Hauptrolle ist, welcher die Wirkungen erzeugt. Denn 4000 Siemens'sche Einheiten oder eine nicht bedeutend elektromotorisch wirkende Verbindung von Metall und Flüssigkeit geben sie nicht. Sie bleiben unvollständig, wenn das Nebenelement zu schwach ist. Fällt es zu stark aus, so klebt der Anker an den Eisenkernen an. Die Verhältnisse gestalten sich am günstigsten, wenn sein innerer Widerstand dem der erregenden Rolle gegenüber innerhalb gewisser Grenzen bleibt.

Hat man ein passendes Nebenelement eingeschaltet, so erzeugt das lebhafteste Hämmern des kräftigsten, z. B. von sechs grossen, mit verdünnter Schwefelsäure geladenen Zink-Kohlenelementen getriebenen Magnetelektromotors keine Spur von Empfindung, wenn man die Enden der Leitungsdrähte der Induktionsrolle auf die Zunge bringt und die beiden Spiralen vollkommen zusammengeschoben sind. Das mit Einstichsnadeln behandelte Hüftgeflecht des Frosches dagegen antwortet selbst bei dem Gebrauche eines schwachen treibenden Elementes.

Die Prüfung bei verschiedenen Stellungen der erregten Rolle liefert hier ähnliche Ergebnisse, wie man sie bei der unter *a* geschil-

derten Einrichtung bekommt. Winterfrösche geben wiederum zuerst nur Oeffnungswirkungen. Man hat später häufig eine kurze Strecke, innerhalb deren blosse Schliessungs-, aber keine Oeffnungs-Zusammenziehungen auftreten. Dann folgen beiderlei Wirkungen, die nach und nach immer gleicher unter einander werden, bis endlich nahezu congruente Muskelcurven herauskommen. Eine noch grössere Annäherung der Induktionsrolle führt in der Regel zu dem Vorherrschen der kräftigen Oeffnungszuckung über die ebenfalls starke Schliessungs-Zusammenziehung.

Die Wiederholung der Versuche unter denselben Nebenbedingungen führt hier abermals zu den mannigfachsten Schwankungen. Die annähernde Gleichheit der beiderlei Zusammenziehungen fordert später eine weitere Annäherung der Induktionsrolle, als früher, ja zuletzt oft ein völliges Zusammenschieben, wenn der Nerv durch wiederholte elektrische Reizungen ermüdet worden oder seine Kräfte im Laufe der Zeit gesunken sind.

Will man nicht erst zwei Ketten besonders aufstellen, so nimmt man eine kleinere Batterie, die sich dadurch schliessen lässt, dass man das Brett, auf dem sich die mit Flüssigkeit gefüllten Gläser befinden, durch einen Rollenzug so emporhebt, dass die Zinkkohlen-Elemente in die Flüssigkeit tauchen. Man gebraucht z. B. zwei bis vier kleine Elemente, die mit verdünnter Schwefelsäure geladen sind, als erregende Kette und eines, das mit Kochsalzlösung oder einer Auflösung von Kochsalz und Alaun versehen worden, als Nebenelement. Beide Ketten werden auf ein Mal geschlossen, wenn man das Brett mittelst der Rolle hinaufzieht. Die zwei Arten von Elementen dürfen aber nicht unmittelbar an einander stossen, sondern müssen durch einen grösseren Zwischenraum der Sicherheit wegen wechselseitig getrennt werden.

### 5) Abblendung des Schliessungs- oder des Oeffnungsstromes.

Der hier zum Grunde liegende Gedanke besteht darin, eine Nebenschliessung von wesentlich geringerem Leitungswiderstande in dem Augenblicke, welcher der Erzeugung eines der beiden Induktionsströme entspricht, in dem inducirten Kreise herzustellen.

Das an dem Holzwerke des Magnetelektromotors elektrisch isolirt angebrachte Messingstück, welches der Schraube Nr. 5 entspricht, führt den Eisencylinder, in dessen Quecksilberinhalt der rechtwinkelig gebogene Platindraht taucht, welcher mit dem Anker des Hammerwerkes auf- und niedergeht, von ihm aber elektrisch isolirt ist. Das Messingstück Nr. 6 trägt die schon oben erwähnte, durch eine Schraube höher oder tiefer zu stellende Gabel. Berührt die obere oder die untere Gabelkante den wagerechten Theil des Platindrahtes oder bei der neuesten Einrichtung die obere oder untere Berührungsspitze des Drahtes die entsprechende Gabelfläche, so hat man einen elektrisch leitenden Halbbogen, der von dem Messingstücke Nr. 5, dem Eisencylinder, dem Quecksilber, dem Platindrahte, der Gabel und dem Messingstücke Nr. 6 gebildet wird. Verbindet man dann Nr. 5 mit Nr. 8 durch einen, und Nr. 6 mit Nr. 9 durch einen zweiten Draht, oder umgekehrt, also mit den beiden Enden der Induktionsrolle, so vervollständigt man den erwähnten Halbbogen zu einem rein metallischen Kreise, indem man die beiden erwähnten Leitungsdrähte und die Inductionsspirale hinzufügt. Geht von Nr. 8 und Nr. 9 ein anderer Kreis aus, der einen grösseren Leitungswiderstand darbietet, so nimmt er einen schwächeren Stromzweig als die oben erwähnte Nebenschliessung auf. Dieser Fall kommt schon vor, wenn man z. B. ein Galvanometer von 30,000 Windungen eingeschaltet hat. Befindet sich aber ein durchfeuchtetes Stück, z. B. ein thierischer Theil in dem Induktionskreise, so wird sein Stromantheil des grossen Leitungswiderstandes der Flüssigkeit wegen so schwach, dass seine Abgleichung selbst nicht mehr den Froschnerven zur Thätigkeit anregt.

Will man die Schliessungs-Induktionsströme abblenden, so muss man die Berührung des Platindrahtes mit dem oberen Gabelstücke so herstellen, dass sie früher zu Stande kommt, als die der Hammerfeder mit der Platinspitze der oberen Contaktschraube des Magnetelektromotors, hingegen auch früher gelöst wird, als diese sich wiederum von dem Hammer entfernt. Der freie Hammer schwingt mit seiner ganzen Länge, bis er die Spitze der Contaktschraube berührt, dann aber nur mit derjenigen Strecke, die zwischen dieser und dem Ende des Ankers liegt. Die obere Gabelkante muss also

die erstere Bewegungsart in ihrem letzten Abschnitte zur Berührung benützen. Die Gabel dagegen darf nicht während der ganzen Dauer der zweiten niedergehenden Bewegung an dem Platindraht bleiben. Die Schliessungsströme durchsetzen dann vor Allem den Nebenkreis geringeren Widerstandes und nur mit unmerklicher Stärke den Hauptkreis. Dieser empfängt dagegen die Gesammtintensität der Oeffnungsströme.

Sollen die Letzteren abgeblendet werden und nur die Schliessungsströme wirken, so wird die untere Gabelkante so eingestellt, dass sie den Platindraht noch nicht berührt, wenn die aufsteigende Hammerfeder den Contakt mit der Platinspitze der oberen Berührungsschraube herstellt, ihn aber berührt, ehe und während der inducirende Kreis geöffnet wird. Man nimmt also hier die Schwingung der ganzen Hammerlänge in Anspruch.

Die Richtigkeit der Einstellung lässt sich auf zweierlei Weise prüfen, durch das Galvanometer und durch eine Jodkaliumlösung, in die man Papier, Bindfaden, Leinwand oder Flanell, welche vorher mit einer Kleisterlösung durchtränkt und getrocknet worden, eingetaucht hat. Die Jodstärke zeigt sich in dem zweiten Falle an dem positiven Pole. Sie kann daher auch zur unmittelbaren Bestimmung von diesem dienen.

Ich nahm ein Sauerwald'sches Galvanometer von 30,000 Windungen und setzte eine nur schwach astasirte Nadel ein, da die oft sehr kräftigen, ablenkenden Ströme jede feinere Astasie bald zerstört haben würden. Sie brauchte 27 Sekunden für 10 hin- und hergehende Schwingungen. Eine volle Schwingung forderte daher im Durchsnitt 2,7 Sekunden. Das Galvanometer stand 2 bis 3 Meter von dem Magnetelektromotor entfernt, damit die magnetisch gewordenen Eisenkerne die Nadel nicht ablenkten. Ich liess jeden Magnetelektromotor, den ich prüfen wollte, zuerst ohne Verbindung der Induktionsrolle mit dem Galvanometer spielen, um mich zu überzeugen, dass nicht die magnetischen Eisenmassen störend wirkten.

Die elektrolytische Prüfung mit Jod erwies sich als weit empfindlicher, wie die durch das erwähnte Galvanometer. Selbst sehr verdünnte Jodkaliumlösungen dienen in genügender Weise. Man

kann hierzu die stromzuleitende Vorrichtung von Du Bois gebrauchen, wenn man die beiden Platinbleche möglichst genau in eine Ebene bringt und das mit Jodkaliumlösung durchtränkte Kleisterpapier an den Rändern umbiegt und hier fest anlegt. Der blauschwarze Streifen, den die ausgeschiedene Jodstärke erzeugt, bildet sich zuerst an einem der beiden Einschlagsränder. Vernachlässigt man diese Vorsichtsmaassregel, so kommen leicht Täuschungen zu Stande, weil die unvollständige Berührung oft genug den blauschwarzen Streifen nur an einer Seite gibt, wo er noch an beiden auftreten sollte. Ich bediente mich häufiger der zum Galvanisiren mikroskopischer Präparate dienenden Vorrichtung, die ich an dem an einem anderen Orte[1]) beschriebenen Wärmetische in neuerer Zeit anbringen liess. Ich lege den mit Kleister und Jodkalium durchtränkten Theil auf die beiden Platinschüsselchen, auf die sonst der mikroskopische Gegenstand gebracht wird, und beschwere ihn mit einer Glasplatte oder mit dieser und einem kleinen Gewichte, um der genauen Berührung sicher zu sein. Man braucht dann nur das Hammerwerk des Magnetelektromotors gehen zu lassen, um die Jodstärkebildung nach kurzer Zeit zu erlangen. Dasselbe ergiebt sich, wenn ich das auf einer Glasplatte befindliche, mit Jodkalium durchtränkte Kleisterpapier gegen die Platinenden der Vorrichtung andrücke, die ich zur Nervenerregung mit Metallen gebrauche.

Die beiden älteren Gabelformen lassen sich im Allgemeinen leichter für die Abblendung der Schliessungs-, als für die der Oeffnungsinduktionsströme einstellen. Da diese die kräftigeren sind und man sie durch den thierischen Theil in beliebiger Richtung leiten kann, wenn man einen Stromwender in den Induktionskreis eingeschaltet hat, so wäre die Hauptaufgabe mit der blossen Beseitigung der Schliessungsströme schon gelöst. Wir werden aber in der Folge noch ein Mittel kennen lernen, die Abblendung der Oeffnungsströme ebenfalls ohne grosse Mühe herzustellen.

Man sieht zuerst nach, wie hoch der wagerechte Theil des an dem Anker befestigten Platindrahtes steht, wenn die Hammerfeder

1) Die physikalische Untersuchung der Gewebe. S. 422—426.

der Platinspitze der oberen Berührungsschraube anliegt. Die Gabel wird alsdann so weit hinabgeführt, dass ihre obere Kante den Platindraht nicht nur berührt, sondern noch um eine kleine Grösse herabdrückt, ohne dass die Hammerfeder die Platinspitze der oberen Contaktschraube zu berühren aufhört. Eine passende schwache Biegung des dem Anker benachbarten Theiles der Hammerfeder und eine zweckmässige Excursionsgrösse des Hammerwerkes, also auch des Platindrahtes, wenn jenes spielt, erleichtern die Einstellung. Arbeitet hierauf der Magnetelektomotor, so haben die Oeffnungs-Induktionsschläge ihren freien Lauf durch den thierischen Theil, wenn zuerst der sich mit dem Anker senkende Platindraht die obere Gabelkante und hierauf die Hammerfeder die Platinspitze der oberen Contaktschraube verlassen hat. Schwingt dann die Hammerfeder nach oben zurück, so trifft zuerst der Platindraht die obere Kante der Gabel, weil diese etwas tiefer gestellt worden, führt sie vermöge ihrer lebendigen Kraft mit sich in die Höhe und schiesst hernach die erregende Kette, so dass die jetzt entstehenden Schliessungs-Induktionsströme vorzugsweise durch die Nebenleitung gehen. Mögen sich auch hier manche Unregelmässigkeiten und einzelne Schliessungsschläge für den thierischen Theil einschleichen, so erreicht man doch bald den Hauptzweck, dass die bei weitem grösste Menge der durchsetzenden Schläge aus blossen Oeffnungsschlägen besteht. Blieb die Galvanometernadel während des gewöhnlichen Hämmerns des Magnetelektromotors ruhig, so dass sie die eigenthümliche einseitige Ablenkung von diesem nicht anzeigte, so verweilt sie z. B. jetzt während der Hammerthätigkeit fortwährend in dem linken Quadranten und schwankt hier zwischen 30° und 80° oder selbst zwischen 70° und 90° und sogar zwischen 100° und 120°, so wie die Schliessungs-Induktionsströme abgeblendet worden. Kehrt man die Richtung des erregenden Stromes durch einen in seinen Kreis eingeschalteten Stromwender um, so hat man dasselbe Spiel in dem rechten vorderen Quadranten. Die Nadel geht oft nicht aus dem Quadranten während einer Viertelstunde und länger heraus. Es kann aber dann auch vorkommen, dass sie sich bei ihren Ausschlägen der Null nähert oder ausgiebige Schwingungen von einem Quadranten zum anderen macht, weil das

allzulange fortgesetzte Hämmern die Gabelstellung etwas in Unordnung gebracht hat. Eine kleine Drehung ihrer Stellschraube führt meistentheils das richtige Verhältniss bald zurück.

Ich habe mir häufig die Vorrichtung durch gabeltheilige Elektroden so hergestellt, dass ich die Induktionsströme unmittelbar nach einander durch das Galvanometer und durch den Jodkreis treten lassen konnte. Bilden beide nur einen Kreis, so geht der Strom des geringeren Leitungs-Widerstandes wegen durch die Windungen des Galvanometers und das Jodkalium bleibt unzersetzt. Bleibt aber auch sonst die Nadel fortwährend zwischen 70° und 90° eines und desselben Quadranten, so scheidet sich doch noch oft genug das Jod an beiden Polen aus. Man muss die Gabel genauer einstellen, damit die blauschwarze Masse nur an einer Seite zum Vorschein komme. Hat man dieses Resultat erreicht, so erhält es sich oft unverändert, wenn auch der Magnetelektromotor lange forthämmert.

Der Unterschied zwischen dem Galvanometer und dem Jod erklärt sich leicht. Schleichen sich einzelne Schliessungsschläge zwischen die Oeffnungsschläge des inducirten Kreises ein, so sucht sich zwar die Galvanometernadel nach der entgegengesetzten Richtung zu wenden. Da aber die vorherrschenden Oeffnungsschläge bald nachfolgen, so schwankt höchstens die Nadel hin und her. Sie verfällt nur bei allzugrossen Unregelmässigkeiten in ausgiebige Schwingungen in beiden Quadranten hin und her. Jeder Schliessungsschlag dagegen, der den Jodkreis durchsetzt, hinterlässt ein bleibendes Denkmal in einer blauschwarzen Ablagerung an dem anderen Pole, als an dem, auf den der Oeffnungschlag wirkt. Der Gedanke, dass eine zu concentrirte Jodkaliumlösung einen Polarisationsstrom erzeuge, der stark genug wäre, auch Jod an dem anderen Ende auszuscheiden, bestätigt sich in der Erfahrung nicht. Man kann noch die einseitige Zersetzung bei einer Lösung von einem Theile Jodkalium in vier Theilen Wassers und den kräftigsten Induktionsschlägen erhalten. Eine dunklere Färbung zeigt sich oft an dem positiven, als an dem negativen Polende, selbst wenn eine möglichst verdünnte Jodkaliumlösung angewendet worden, bis man endlich die Einstellung so trifft, dass die Einschaltung von Schliessungsschlägen ausbleibt.

Will man die Oeffnungsschläge abblenden, so stellt man das untere Gabelblatt so ein, dass nur ein kleiner Zwischenraum zwischen der unteren Platinkante der Gabel und der Unterfläche des Platindrahtes übrig bleibt. Man findet die nöthige Entfernung am besten, wenn man zuerst die Platinkante dem Platindrahte anlegt, dann den Magnetelektromotor hämmern lässt, so dass der Platindraht die elastische Gabel bei seiner grössten Senkung mit sich fortführt und hierauf die Gabelkante etwas tiefer stellt. Legt sich die Hammerfeder bei ihrem elastischen Rückschwunge an die obere Berührungsschraube an, so gehen die Schliessungsschläge durch den Induktionskreis, der das Galvanometer, das mit Jodkalium und Kleister versehene Präparat oder den thierischen Theil enthält, ungehindert durch. Stehen aber die untere Platinkante und der Platindraht so wenig von einander ab, dass sie sich bei dem Niedergange des Hammers früher berühren, als sich die Hammerfeder von der Platinspitze der oberen Berührungsfeder loslöst, so werden die Oeffnungs-Induktionsschläge abgeblendet.

Treibt ein sehr schwacher Strom, z. B. der eines kleinen mit Salzlösung geladenen Zink-Kohlenelementes, den Magnet-Elektromotor, so gelingt oft diese Einstellungsweise erst nach vielen unglücklich ausfallenden Versuchen. Nimmt man hingegen eine kräftige Batterie, z. B. drei grosse, mit verdünnter Schwefelsäure versehene Zink-Kohlenelemente, so stellt man nicht bloss die Abblendung des Schliessungs-, sondern auch die der Oeffnungs-Induktionsschläge ohne grosse Mühe her. Ich wähle daher immer starke Erreger, schwäche aber die Induktionsströme durch das Hinausschieben der Nebenrolle, um nicht die Nervenstimmung zu rasch zu ändern oder die Reizbarkeit allzu schnell zu erschöpfen.

Wir werden die Vortheile, welche die Punktberührung gewährt, in dem nächstfolgenden Abschnitte genauer besprechen. Theoretisch genommen, sollte auch nur eine solche stattfinden, wenn die Kante des einen Gabelblattes mit dem kreisrunden Platindrahte zusammenstösst. Man hätte dann das Verhältniss der Tangente zum Kreise. Die nicht mathematisch runde Form des Drahtes und die noch weniger einer blossen Linie entsprechende Kante ändern die Verhältnisse. Der Umstand, dass sich Fläche von Fläche, die oft nicht

passend zu einander stehen, loslösen oder sich wechselseitig anlegen müssen, dass daher die Trennung oder die Berührung nicht in dem nothwendig kleinen Zeittheile vollendet wird, bildet wahrscheinlich die Hauptursache des Misslingens bei dem Gebrauche schwächerer erregender Ströme. Die kräftigere und raschere Wirkung der stärkeren beseitigt diesen Uebelstand zum grössten Theile.

Der Grund, wesshalb ich die Innenflächen der beiden Gabelblätter in neuester Zeit glatt machen und dafür zwei Berührungsspitzen an den beiden Seiten des wagerechten Abschnittes des Platindrahtes anbringen liess, lag in der Hoffnung, die Vortheile der Punktberührung, welche den Uebelstand einer durch die Funkenbildung bedingten rascheren Abnutzung weit überwiegen, für die sichere Abblendungseinstellung zu verwerthen. Diese ist auch in der That viel leichter und sicherer geworden, so dass man nicht blos die einseitige Antwort der Galvanometernadel, sondern auch der Jodstärke, selbst bei der Anwendung einer sehr concentrirten Jodkaliumlösung und dem Gebrauche schwacher erregenden Ströme, ohne Mühe erhält. Die Abblendung der Oeffnungsschläge wird hier im Augenblicke gefunden.

Hat man die passende Einstellung bei irgend einer der beschriebenen Vorrichtungen getroffen, so geht Alles auf das Regelmässigste, so lange nicht das fortwährende Anschlagen des Platindrahtes an das Gabelblatt dieses verrückt, ein Uebelstand, dem man bald durch eine Drehung der es beherrschenden Schraube abhelfen kann. Wird der in dem Induktionskreise eingeschaltete Stromwender direkt geschlossen, so weicht z. B. das vordere Ende der Galvanometernadel nur noch rechts ab und die Jodstärke scheidet sich ebenfalls rechts aus, wenn die Schliessungsinduktionsschläge abgeblendet worden. Schliesst man hierauf den Stromwender indirekt, so treten die beiden Erfolge links ein. Man hat hierauf dieses Letztere bei der Abblendung der Oeffnungs-Induktionschläge und der direkten Schliessung des Stromwenders. Die Erscheinungen zeigen sich rechts, so wie man diesen indirekt geschlossen hat.

Das Hinausschieben der Induktionsrolle sichert noch in manchen Fällen vor einer anderen Täuschungsquelle.

Obgleich sich der Unterschied der Schliessungs- und der Oeffnungsströme an dem Galvanometer, das nur die Quantität, nicht aber die Geschwindigkeit der in der Zeiteinheit durchfliessenden Elektricitätsmenge anzeigt, nicht verrathen, die Nadel desselben also, wie es auch oft der Fall ist, in Ruhe bleiben sollte, so stösst man doch häufig auf eine einseitige Bewegung derselben, die man die eigenthümliche Ablenkung des Magnetelektromotors nennt. Sie erfolgt in dem Sinne der erregenden Kette, fehlt in der Regel bei schwachen inducirenden Strömen, wenn man kein sehr feines Galvanometer gebraucht, und hängt oft bei stärkeren von der Thätigkeitsweise des Hammerwerkes ab. Riecke und Börnstein [1]) leiten sie davon her, dass die Schwingungsdauer der Hammerfeder bei der schliessenden Bewegung derselben grösser, als bei der Oeffnung ist, weil bei jener die ganze Länge der Feder von ihrem Anfange an der Polsäule bis zum äusseren Ankerrande, bei dieser hingegen nur dasjenige Stück, welches zwischen dem Letzteren und dem Berührungspunkte der Contactschraube liegt, schwingt.

Macht sich die eigenthümliche Ablenkung in hohem Grade geltend, so kann es vorkommen, dass sie den besonderen Ausschlag, den die Abblendung der einen Art von Induktionsströmen erzeugt, einschränkt oder sogar verdeckt, wenn dieser einer dem ihrigen entgegengesetzten Richtung entspricht. Die Nadel wendet sich z. B. dann immer nach links, man mag nur Schliessungs- oder blosse Oeffnungsschläge bei völlig zusammengeschobenen Rollen hindurchleiten. Die Entfernung der Induktionsspirale von der inducirenden hebt diese Fehlerquelle auf. Ich wähle daher immer diese Einstellungsweise der Sicherheit wegen, wenn ich die eine Art von Induktionsströmen abblenden will.

### 6) Tetanisation mit gemischten Strömen.

Verbindet man den thierischen Theil durch Leitungsdrähte mit Nr. 3 und Nr. 4, die den beiden Enden des hinter dem Hammerwerke liegenden Theiles der Induktionsrolle entsprechen, so gibt die

---

1) R. Börnstein. Zur Theorie von Ruhmkorff's Induktionsapparat. Berlin 1872. 8. S. 33 und 34.

hierdurch erzeugte Nebenschliessung den tetanisirenden Strom der Kette, welche das Hammerwerk in Bewegung setzt, und die Extra-Induktionsströme, die sich bei dem Schliessen und dem Oeffnen des erregenden Kreises erzeugen, wie schon unter Nr. 1 erläutert worden. Die Galvanometernadel weicht immer im Sinne des erregenden Stromes ab, da er quantitativ der stärkere ist, während sich der Extrastrom rascher abgleicht und daher physiologisch kräftiger wirkt.

Man könnte glauben, dass sich das Spiel des Hammerwerkes ohne Weiteres gebrauchen liesse, den thierischen Theil mittelst des blossen erregenden Kettenstromes zu tetanisiren. Eine nähere Betrachtung lehrt, dass dieses nicht der Fall ist.

Schaltet man ein thierisches Gebilde oder eine Flüssigkeit in den erregenden Kreis ein, so erzeugt sich hierdurch ein so grosser äusserer Widerstand in dem erregenden Kreise, dass in der Regel das Hammerwerk des Magnetelektromotors nicht mehr spielt. Dasselbe wiederholt sich für die in physikalischen Kabinetten vorhandene und zur Erläuterung der Induktionswirkungen bestimmte Vorrichtung, in der ein Halske'scher Hammer einen Kreis schliesst und öffnet, und welche nur die die Eisenkerne umwindenden Spiralen, dagegen keine Induktionsspirale enthält. Der äussere Widerstand der Nebenrolle, welche der Magnetelektromotor enthält, verschwindet natürlich im Vergleich zu dem, welchen die Einschaltung des thierischen Theiles oder einer Flüssigkeit überhaupt erzeugt. Man kann es durch sehr kräftige Ströme erzwingen, dass sich das Hammerwerk und zwar oft genug, wie der Ton lehrt, bei den verhältnissmässig schwächeren Stromintensitäten unregelmässig bewegt. Der eingeschaltete Nerv ändert dann aber meist seine Empfänglichkeit nach kurzer Zeit in störender Weise.

Man gelangt besser zum Ziele, wenn man den Nerven oder den Muskel in eine Nebenschliessung des erregenden Kreises einschaltet. Der eine Leitungsdraht desselben kommt in die Schraube Nr. 2 der den Hammer tragenden Säule und der andere in Nr. 1, die der zweiten Polsäule angehört. Treibt man dann den Magnetelektromotor durch ein schwaches Hydroelement oder durch die oben erwähnte Noë'sche Thermosäule, so verfällt das Hinterbein eines

eingeschalteten Hüftgeflechtpräparates des Frosches in die heftigsten Starrkrämpfe nach der Nervenreizung. Die Ablenkung der Galvanometernadel wird wiederum natürlich von dem erregenden Strom bestimmt. Man hat aber auch hier eine Mischung des erregenden Hydrostromes und der in der Induktionsrolle erzeugten Extraströme. Diese fallen verhältnissmässig am schwächsten aus, wenn man die oben erwähnte Demonstrations-Vorrichtung ohne Induktionsrolle nimmt. Schaltet man noch einen flüssigen Rheostaten in den Nebenkreis ein, so kann man den Strom, der auf die Nerven wirkt, beliebig schwächen. Die vorwurfsfreie Tetanisation mit gleichgerichteten oder abwechselnden Thermo- oder Hydroströmen wird uns in dem letzten Abschnitte dieser Abhandlung beschäftigen.

## Anhang. Ueber die Beigabe einer condensirenden Vorrichtung.

Der von Fizeau zuerst empfohlene und von Ruhmkorff in seinen Apparaten hergestellte Condensator ändert nicht die Wirkungen, welche der Induktionskreis des Magnetelektromotors auf das Galvanometer ausübt. Während aber die Funkenbildung an der Berührungsstelle der Contaktschraube abnimmt, gewinnt sie bedeutend an Schlagweite zwischen den Leitungsdrähten der Induktionsrolle, wenn der Magnetelektromotor passend eingerichtet ist. Der physiologische Erfolg nimmt ebenfalls wegen der rascher ablaufenden Induktionswirkung bei dem Oeffnen des Kreises zu. Die kräftigeren Schläge erregen nebenbei die Nebenempfindung des Brennens.

Da selbst mittelmässig gebaute Magnetelektromotoren Schläge liefern, die ohne ein passendes dämpfendes Nebenmittel mit grosser Kraft physiologisch wirken, so wird man nie in den Fall kommen, einen Condensator zu diesem Zwecke hinzuzufügen. Man muss dagegen die gewöhnlichen Magnetelektromotoren mit einem Ruhmkorff vertauschen, wenn man z. B. Knallgas bei Luftanalysen verpuffen oder Curven mit den elektrischen Funken aufzeichnen will. Einige Versuche, die ich in dieser Hinsicht anstellte, überzeugten mich, dass sich dieser Wechsel vorläufig nicht wird beseitigen lassen, weil die Schlittenapparate Hauptrollen von zu geringem Leitungswiderstande enthalten.

Ich entfernte den Condensator von einem kleineren Ruhmkorff und verband ihn mit dem Schlitten-Magnetelektromotor von Du Bois, dem von Helmholtz oder dem hier betrachteten Magnetelektromotor. Ein Draht führte zu dem Hammer und ein anderer zu der Berührungsschraube, so dass der erregende Strom bei dem Oeffnen rascher in die isolirten Hälften des Condensators abfliessen und sich daher auch der erregte Oeffnungsstrom schneller abgleichen konnte. Ich war dessen ungeachtet nicht im Stande, den Funken durch den ungefähr $1^1/_2$ Millimeter betragenden Abstand der beiden Enden der Platindrähte eines Eudiometers schlagen zu lassen, wenn ich selbst sechs grosse mit verdünnter Schwefelsäure geladene Zink-Kohlenelemente als erregende Batterie anwandte. Die Einschaltung einer kleinen oder einer grossen Leydener Flasche hatte schon früher dasselbe ergeben.

Nahm ich den Ruhmkorff ohne seinen Condensator, so gingen schon die Funken durch den Zwischenraum von $1^1/_2$ Mm. bei dem Gebrauche von 3 und durch einen solchen von 4 Mm. eines anderen Eudiometers bei dem von vier der oben genannten Elemente. Schraubte ich wiederum den Condensator an, so fehlte eine bedeutende Vergrösserung der Schlagweite bei der Benützung von zwei oder drei Elementen. Sie erschien dagegen schon deutlich bei vier, und auffallender bei sechs Elementen.

### *b. Punktschliesser.*

Es wurde schon an einem anderen Orte [1]) hervorgehoben, dass man die wirkliche Abgleichungsgeschwindigkeit von der mittleren (theoretischen) bei der Einwirkung der elektrischen Ströme auf die Nerven unterscheiden müsse. Denken wir uns die Zeit, welche die Schliessung oder die Oeffnung eines elektrischen Kreises in Anspruch nimmt, als Abscisse und die Stromstärken als senkrechte Ordinaten, so geht der Strom in dem ersten Augenblicke der Schliessung von der Stärke Null, also sein graphisches Bild von der Zeitabscisse aus. Er steigt während der Schliessungszeit bis zur grössten Stärke, also in der Zeichnung bis zur längsten senkrechten Ordinate empor

1) Versuch einer physiologischen Pathologie der Nerven. Leipzig und Heidelberg. 1864. S. 5. 48. 49.

und erreicht diese im letzten Augenblicke der Schliessung. Die Oeffnung liefert den umgekehrten Gang. Die Abgleichungsgeschwindigkeit ist um so grösser, je kleiner die zu dem Schlusse oder der Oeffnung verwandte Zeit oder je beträchtlicher die Stromstärke, je steiler also die gerade Linie, welche die Ordinaten der Stromstärke am Anfange und am Ende verbindet, gegen die Abscissenlinie abfällt. Sie kann daher die gleiche bleiben, wenn man die Zeit für einen schwächeren Strom abkürzt oder für einen stärkeren verlängert.

Jene gerade Linie drückt nur die mittlere Abgleichungsgeschwindigkeit aus. Man darf sie nicht als die vollkommen wahre ansehen. Sie setzt voraus, dass die Stromstärken den verflossenen Zeiten proportional in jedem Zeitelemente bei der Schliessung wachsen und bei der Oeffnung abnehmen. Dieses wäre allerdings bei einem idealen gleichförmig fortschreitenden Schliessen oder Oeffnen ohne alle Aenderung der vorhandenen Leitungswiderstände der Fall. Da aber die Erfahrung dieser theoretischen Forderung nie entspricht, so bildet die wirkliche Abgleichungscurve keine gerade, sondern eine krumme Linie, die wahrscheinlich oft genug auf- und niedergeht und sich meist nicht einmal durch ein annäherndes Parabelstück ersetzen lässt. Die physiologischen Erfolge hängen daher von der wirklichen und nicht von der mittleren Abgleichungs-Geschwindigkeit ab. Man muss desshalb suchen, die Abgleichungscurve für eine Reihe aufeinander folgender Versuche möglichst übereinstimmend herzustellen. Geschieht dieses nicht, so arbeitet man vergeblich, weil sich ein wesentlich bestimmender, aber uncontrolirbarer Faktor in jede einzelne Beobachtung einschleicht und daher auch nicht die verschiedenen Ergebnisse unter einander verglichen werden können.

Alle Schlüssel mit irgend breiten Schliessungsflächen besitzen diesen Nachtheil, den auch Du Bois[1]) hervorgehoben und selbst für die Abnutzung der Metalle durch den Oeffnungsfunken geltend gemacht hat.[2]) Man kann ihn dagegen möglichst herabsetzen, wenn

1) Du Bois Monatsberichte der Berliner Akademie aus dem Jahre 1862. Berlin. 1863. S. 5. 400. 401.

2) Du Bois. Ebendaselbst S. 378.

man die Berührungsfläche, so sehr es irgend geht, verkleinert, d. h. auf einen materiellen Punkt beschränkt. Dieses ist der Grund, wesshalb ich nur Punktschliesser und Punktstromwender zu physiologischen Versuchen seit Jahren gebrauche.

Die einfachste Form des Punktschliessers enthält zwei die Leitungsdrähte aufnehmende Klammern, die auf einem kleinen Brette isolirt stehen. Die Säule der einen Klammer trägt einen mit einer isolirten Handhebe versehenen Messingbalken, der unten die Berührungsspitze führt. Sein mit der Säule zusammenhängendes Ende lässt sich um eine wagerechte Axe drehen. Die Säule der zweiten Klammer ist unten mit einem Platinplättchen metallisch verbunden. Dieses berührt die Contaktspitze, wenn man den Messingbalken so weit senkt, dass er wagerecht steht. Der galvanische Kreis schliesst sich dann. Er wird geöffnet, so wie man den Balken emporhebt.

Man kann noch an ihn eine länglichrunde, um ihren Mittelpunkt drehbare Messingscheibe senkrecht anschrauben. Macht die kleinere Axe des elliptischen Begrenzungsrandes einen Winkel von 90° mit dem Brettchen, so berührt die Spitze die Platinplatte. Dreht man ein wenig, so dass ein längerer Ellipsendurchmesser senkrecht zu stehen kommt, so hebt sich die Spitze. Der elektrische Kreis öffnet sich hierdurch.

Die Punktverbindung stellt natürlich nicht das gewünschte Ideal her. Man kann aber bald sehen, wie viel sie leistet, wenn man eine Reihe von Reizungsversuchen unter möglichst gleichen Nebenbedingungen macht. Ich nahm ein sehr schwaches mit Salzwasser geladenes Zink-Kohlenelement, um die Empfänglichkeit der Nerven nicht zu rasch zu ändern. Die beiden Leitungsdrähte desselben gingen zu einem Punkt-Stromwender. Der Draht, der sich in der einen Ableitungsklemme desselben befand, verlief zu dem beschriebenen Punktschliesser. Die Leitung begab sich von da zu dem allgemein gebräuchlichen, breitflächigen, angeblich Du Bois'schen Schlüssel, der von Plath, dem Nachfolger von Sauerwald, bezogen war. Der Draht, der von ihm kam, haftete zuletzt in der einen Batterieklemme eines zweiten Stromwenders, der überdiess noch den zweiten Ableitungsdraht des ersten Stromwenders

aufnahm. Die zwei Ableitungsdrähte dieses zweiten Commutators führten die Einstichnadeln, die in das Hüftgeflecht eines frisch getödteten Frosches nach der Zerstörung von Gehirn und Rückenmark eingeführt worden.

Ich konnte auf diese Weise die Nerven durch die Oeffnung des zweiten Stromwenders ganz ausschalten oder den Strom durch sie nach Belieben auf- oder absteigend leiten. Der erste Stromwender machte diese Aenderung ebenfalls möglich, wenn der zweite geschlossen blieb. Hatte ich aber einen der beiden Schliesser geöffnet, die beiden Stromwender dagegen geschlossen, so konnte ich durch den Schluss von jenem den erregenden Kreis vervollständigen. Dem Zuckungsgesetze der lebenden Nerven entsprechend, erhielt ich immer nur eine Zusammenziehung bei dem Kettenschlusse, sowie die Nerven frisch und nicht schon durch viele Versuche misshandelt waren, wenn ich auch das oben erwähnte schwache Element mit drei grossen mit verdünnter Schwefelsäure geladene Zink-Kohlenelementen vertauscht hatte.

Waren alle Theile des unteren Endstückes des Unterschenkels bis auf die Achillessehne durchschnitten, die äussere Hälfte des Fusses entfernt und die innere an dem Haken des Myographion befestigt, so schloss ich den Kreis in einer der beiden Richtungen zuerst drei Mal mit dem Punktschliesser und hierauf drei Mal mit dem breitflächigen Schlüssel oder umgekehrt. Man sah schon unmittelbar an den Hebungen des Schreibstiftes des Myographion, wie der Erstere weit gleichförmigere Ergebnisse, als der Letztere lieferte. Ich liess hierauf die Muskelcurven auf dem sich drehenden berussten Cylinder aufschreiben, so dass die Reibung nicht nur die Hubhöhe herabsetzte, sondern auch viele Feinheiten, die sich bei der Aufzeichnung durch den elektrischen Funken verrathen hätten, verdeckte. Der Cylinder, der sich in $5^1/_2$ Sekunden ein Mal herumdrehte, besitzt unten zwei einander diametral gegenüberstehende Oeffnungen, in die man Anschlagsstifte einfügen kann. Ich schloss den Kreis drei Mal hintereinander mit dem breiten Schlüssel, wenn immer die grössere Cylinderöffnung vor der benachbarten Uhrwerksachse vorüberging. Es lagen also $5^1/_2$ Sekunden zwischen jedem

Paare von Reizungen. Die einzelnen Muskelcurven wurden an benachbarten Stellen des Cylinders aufgezeichnet. Ich wiederholte den Schluss mit dem Punktschliesser, wenn die zweite Cylinderöffnung vor der benachbarten Uhrwerksachse zu stehen kam. Hatte ich sechs solcher Versuche, in denen ich bald mit dem Schlüssel und bald mit dem Schliesser anfing, gemacht, so liess ich das ganz frische Präparat einige Minuten ausruhen.

Die durch den Punktschliesser erhaltenen Curven näherten sich weit mehr der Congruenz, als die des breitflächigen Schlüssels. Man wird dieses unmittelbar erkennen, wenn ich auch nur die grössten, unter etwas mehr als doppelter Vergrösserung erhaltenen Hubhöhen aus einer nicht etwa besonders ausgewählten Versuchsreihe mittheile.

| Stromesrichtung eines kleinen, mit Salzwasser geladenen Zink-Kohlenelementes. | Grösste senkrechte Ordinate der aufgezeichneten Muskelcurve in Millimetern. | |
|---|---|---|
| | Breitflächiger Schlüssel. | Punkt-Schliesser. |
| Absteigend. | 4,8 | 5,6 |
| | 5,9 | 5,2 |
| | 5,2 | 5,2 |
| Aufsteigend. | 5,7 | 5,9 |
| | 8,5 | 6,0 |
| | 13,0 | 6,1 |
| Absteigend. | 7,0 | 5,4 |
| | 7,0 | 5,4 |
| | 7,4 | 5,6 |
| Aufsteigend. | 3,9 | 5,0 |
| | 7,0 | 4,8 |
| | 4,5 | 5,2 |
| Absteigend. | 4,5 | 4,9 |
| | 4,9 | 4,7 |
| | 5,9 | 4,6 |
| Aufsteigend. | 5,3 | 5,5 |
| | 5,3 | 5,5 |
| | 7,6 | 5,6 |

Es erhellt schon aus diesen Zahlen wesshalb ich, abgesehen von anderen Gründen, die Zeit und Mühe für verloren halten muss, die man z. B. aufwandte, um Beziehungen zwischen der Stärke der Zusammenziehung und der Grösse der negativen Schwankung des Muskelstromes nachzuweisen, da die Versuche mit einem breitflächigen Schlüssel angestellt worden. Ich habe immer die Schliessungen desselben möglichst gleichartig in jeder Versuchsreihe zu machen gesucht, um die für die gegenseitige Uebereinstimmung günstigsten Bedingungen herzustellen.

Eine Gefahr der Punktschliessung liegt darin, dass die Berührungsspitze an der Berührungsfläche hin- und hergleitet. Sie lässt sich durch rasches senkrechtes Hinabsenken der Berührungsspitze und schnelles Loslassen nach der Herstellung des Contaktes vermeiden. Ein elastischer Faden dient hierzu besser, als ein fester Griff. Man hat dagegen jenen Fehler in ausgedehntem Maassstabe an dem grossflächigen Schlüssel. Es ist bei ihm nicht möglich den Kreis augenblicklich zu öffnen und den daher stattfindenden Wechsel der Leitungswiderstände das eine Mal genau so, wie das andere Mal einzurichten.

### c. *Punktstromwender.*

Die Hauptform desselben, die ich seit Jahren gebrauche, weicht nicht wesentlich von derjenigen ab, welche ich schon an einem anderen Orte [1]) erwähnt habe. Ein viereckiges Brett trägt zwei mit Klemmen versehene Messingsäulen zur Aufnahme der beiden Leitungsdrähte der wirkenden Kette, wir wollen sie daher die Batteriesäulen nennen. Sie führen einen um seine wagerechte Achse drehbaren, in der Mitte durch ein Elfenbeinstück unterbrochenen Messingbalken, der mit ihnen metallisch zusammenhängt. Jede der wechselseitig isolirten Hälften von diesen besitzt vorn und hinten je einen Arm mit einer eine Contactspitze führenden Schraube. Eine jede der zwei vorderen und der zwei hinteren Ableitungssäulen, welche die zur Aufnahme der Drähte nöthigen Klemmen besitzen,

1) Henle und Pfeuffer, Zeitschrift für rationelle Medicin. Dritte Reihe. Bd. XXXIII. S. 106. 107.

ist mit einem federnden Messingblatte, das mit seinem Anfangstheile auf dem Unterlagsbrette ruht, verbunden. Die Hinterfläche des Letzteren trägt noch eine senkrechte mit drei Einschnitten versehene messingene Halterplatte. Sie nimmt den mit einem Elfenbeingriffe versehenen und von dem mittleren Elfenbeinstücke ausgehenden eisernen Leitungsstift für die Drehung des Balkens auf.

Man stellt die vier Berührungsschrauben so ein, dass die zwei vorderen an die beiden vorderen Bleche drückend anstossen, wenn der Leitungsstift in den obersten Einschnitt der senkrechten Messingplatte eingetreten ist. Die Kette wird dann in einer bestimmten Richtung geschlossen. Gehen z. B. die Ableitungsdrähte von den beiden vorderen Klemmen aus und tritt der positive Strom in die rechte Seite des Balkens, so begibt er sich von da in die rechte Berührungsschraube, in die rechte Berührungsplatte und die rechte Ableitungsklemme, gelangt von hier in den eingeschalteten thierischen Theil und kehrt aus ihm durch die Ableitungsklemme, die Berührungsplatte, die Berührungsschraube und den Balkentheil der linken Seite zurück. Man hat auf diese Weise eine direkte Schliessung. Senkt man dagegen den Leitungsstift so weit hinab, dass er in dem dritten oder untersten Einschnitte der senkrechten Halterplatte haftet, so begibt sich der durch den rechten Balkentheil eintretende Strom zur rechten hinteren Berührungsschraube, der rechten hinteren Berührungsplatte und deren Ableitungsklemme. Ein mit ihrer Säule metallisch verbundener Draht verläuft aber zur linken vorderen Ableitungssäule an der Unterseite des Brettes. Der Strom tritt also jetzt links aus dem Stromwender, kommt aus dem thierischen Theile durch die rechte vordere Ableitungsklemme zurück, fliesst von da durch einen zweiten von dieser zur linken hinteren Ableitungsklemme an der Unterseite des Brettes führenden Draht zur Ableitungsklemme, der Berührungsplatte, der Berührungsschraube und der Balkenhälfte der linken Seite. Man hat daher hier eine indirekte Schliessung und zwar mit entgegengesetzter Stromesrichtung. Befindet sich der Drehungsstift des Balkens in dem mittleren Einschnitte des senkrechten Messingbleches, so stehen die Spitzen der vier Berührungsschrauben von den Berührungsplatten ab. Der galvanische Kreis ist also offen.

Der Vorstand der eidgenössischen Telegraphenwerkstätte, Herr Hasler, hat noch einen Punkt-Stromwender angefertigt, der an Bequemlichkeit Nichts zu wünschen übrig lässt. Ein Brett trägt seitlich zwei zur Aufnahme der Leitungsdrähte der Kette bestimmte Klemmen. Sie sind metallisch mit zwei Säulen verbunden, welche zwei stählerne Achsen aufnehmen, die einen Cylinder, an dem sie unten sehr excentrisch angebracht sind, drehen können. Er besteht aus einem Mittelstücke von Holz und zwei Endstücken von Messing. Jenes enthält eine Handhabe zum Drehen. Die vordere Endfläche des Brettes trägt die zwei vorderen und die hintere die beiden hinteren Ableitungssäulen mit den entsprechenden Klemmen. Jede von diesen verbindet sich metallisch mit einem federnden, auf der Oberfläche des Brettes liegenden Messingbleche, das eine kleine Stahlspitze an der Oberseite seines Endtheiles trägt. Man hat noch ein fünftes federndes Blatt zwischen den beiden hinteren, das mit keinem Theile, durch welchen der Strom geht, metallisch zusammenhängt. Es besitzt eine tiefe Furche an seinem vorderen Endtheile. Das mittlere Holzstück des drehbaren Cylinders führt unten einen mit einer messerartigen Schneide versehenen Eisenstift. Steht die obere Handhabe des Cylinders senkrecht, so befindet sich der schmale Ausläufer des Eisenstiftes in der Furche des mittleren Messingblattes. Der Cylinder wird auf diese Weise festgestellt und der elektrische Kreis bleibt offen. Dreht man den Cylinder nach vorn, so berühren die beiden messingenen Theile des Cylinders die vorderen Stahlspitzen. Die Kette wird direkt geschlossen. Wendet man dagegen den Cylinder nach hinten, so gelangt man zur Berührung mit den hinteren Stahlspitzen. Die Kette wird jetzt indirekt und in entgegensetzter Richtung wie früher geschlossen, weil wiederum ein Draht von der linken hinteren Ableitungsklemme zur rechten vorderen und ein zweiter, jenen kreuzend, jedoch von ihm isolirt, von der rechten hinteren zur vorderen linken Ableitungsklemme an der Unterfläche des Brettes verläuft. Dreht man hierauf den Cylinder zurück, so springt bald das messerartige Endstück seines unteren Eisenstiftes in die Furche des mittleren federnden Messingbleches, so dass die Unterbrechung des galvanischen Kreises gesichert bleibt.

Diese Form des Punkt-Stromwenders lässt sich für vergleichende physiologische Untersuchungen mit vielem Nutzen gebrauchen, sobald nicht die Spitzen seiner Schliessungsschrauben bei dem Schlusse und der Oeffnung gleiten oder sich durch die häufige Benützung abgestumpft haben.

### *d. Hämmernder Stromwender.*

Der Gedanke, das Hammerwerk des Magnetelektromotors als Stromwender wirken zu lassen und hierdurch einen raschen Wechsel der beiden entgegengesetzten Stromesrichtungen für beliebig lange Zeiten herzustellen, liegt ziemlich nahe. Eine genauere Ueberlegung zeigt, dass es nicht angeht, die erregende Kette, welche das Hammerwerk treibt, mit oder ohne die Einrichtung, welche der oben betrachtete Magnetelektromotor für die Abblendung der Schliessungs- und der Oeffnungs-Induktionsströme besitzt, zugleich als Tetanisator zu benutzen, besonders wenn man den meiner Ueberzeugung nach für alle feineren physiologischen Versuche seiner Ungleichheiten wegen unbrauchbaren Quecksilberschluss vermeiden will. Da man auf diese Weise eine den Hammer treibende Kette und eine zweite, deren Stromesrichtung gewechselt werden soll, nehmen muss, so machte ich das Hammerwerk von jedem Magnetelektromotor unabhängig. Beschränkt man sich auf die Windungen, welche die Eisenkerne umgeben, so fällt der Theil des äusseren Widerstandes, den die übrige inducirende Rolle erzeugt, fort. Die störenden Extraströme verkleinern sich zu gleicher Zeit.

Wir wollen uns vorstellen, der Anker des Hammers führe ei e von ihm elektrisch isolirte Vorrichtung, die einen zweiten galvanischen Kreis schliesst, wenn er eine gewisse Excursion nach oben oder nach unten gemacht hat. Verbindet man dieses Spiel mit einer Stromwender-Vorrichtung, so kann man den zweiten Strom in der einen oder der entgegengesetzten Richtung fliessen lassen, je nachdem der Hammer den Schluss oben oder unten vermittelt. Der sichtlichste Nutzen einer solchen Einrichtung besteht darin, dass sie die Tetanisation durch blosse Thermo- oder Hydroketten gestattet und daher den Gebrauch der inducirten Wechselströme, bei denen der Schliessungsstrom physiologisch schwächer als der

Oeffnungsstrom wirkt, und die eigenthümliche, die Nadel einseitig ablenkende Kraft des Magnetelektromotors durch elektrotonische Einflüsse ändern kann, zu beseitigen im Stande ist.

Der Vorstand der eidgenössischen Telegraphenwerkstätte, Herr Hasler, verfertigte hier eine diesen Gedanken ausführende Vorrichtung, die ihren Zweck vollständig erfüllt.

Alle Stellschrauben derselben sind mit Befestigungsschrauben versehen. Eine längere, wie die übrigen, auf einem Holzbrette senkrecht befestigte Messingsäule trägt in ihrem wagerechten Arme eine mit einer Platinspitze versehene Stellschraube. Diese berührt das Platinblättchen eines federnden Neusilberblattes. Unter ihm und mit ihm metallisch fest verbunden befindet sich der eine Arm des als Hebel thätigen, später noch zu erwähnenden Waagebalkens. Er führt einen Anker derselben Form und Dicke, wie man ihn in einem Relais hat, der sich über den beiden zu magnetisirenden Eisenkernen befindet. Die zwei diese umhüllenden Spiralen verbinden sich mit ihrem Drahtanfange mit der ersten Polsäule der das Hammerwerk treibenden Kette und durch ihr Drahtende mit der erwähnten langen Messingsäule. Eine andere solche Säule, welche den zweiten Pol der erregenden Kette aufnimmt, trägt die Drehaxe des Hebelwerkes, deren beide Spitzen in Schüsseln laufen, welche durch Stellschrauben genau eingestellt werden können. Der positive Pol des Stromes, der das Hammerwerk treibt, tritt also z. B. durch die erste Polsäule ein, geht durch den Anfangsdraht zu den doppelten die zwei Eisenkerne umgebenden Spiralen, begibt sich dann in die lange Messingsäule, welche die Berührungsschraube führt, in die Feder des Ankers, den mit ihm verbundenen Arm des Wagebalkens, die Drehungsaxe von diesem und deren Tragsäule, die zugleich den negativen Pol aufnimmt. Wird der Anker von den magnetisch gewordenen Eisenkernen niedergezogen, so hört die Berührung mit der Contaktschraube auf. Der den Anker führende Arm des Wagebalkens geht hinab und der andere Arm desselben hinauf.

Dieser Letztere trägt an seinem Ende eine Platte von Hartkautschuk, an welcher die beiden Schliessungsblätter von Neusilber befestigt sind. Jedes von ihnen besteht aus einem wagerechten

Theile, dessen freies Endstück oben und unten ein Platinblättchen führt, und einem senkrechten, der sich mit einem spiralförmig eingerollten und daher leicht federnden Metalldrahte verbindet. Dieser ist an einer der beiden Polsäulen des zweiten Stromgebers, also einer Thermokette, eines Hydroelementes oder der Hauptrolle eines Magnetelektromotors, dessen Stromesrichtung durch das Hammerwerk fortwährend umgekehrt werden soll, angelöthet. Vor diesen beiden Polsäulen stehen vier Ableitungssäulen, zwei hintere, die oben die unteren Berührungsschrauben der zwei Schliessungsblätter tragen, und zwei vordere, welche die zwei oberen Berührungsschrauben an zwei wagerechten Armen führen. Obgleich man nur zwei Drähte in zwei dieser vier Säulen, wie wir sogleich sehen werden, einzufügen braucht, so haben doch alle vier Klemmschrauben, damit man die Ableitungsdrähte in die beiden vorderen oder in die zwei hinteren nach Belieben befestigen könne. Ein auf der Oberfläche des Brettes befindlicher, übersponnener Draht geht von der rechten hinteren Ableitungssäule zur linken vorderen und ein in einer Furche der Unterseite des Brettes eingelassener, also weit von jenem getrennter und ihn der Richtung nach kreuzender von der linken hinteren zur rechten vorderen.

Man wählt am einfachsten diejenige Einstellungsweise, bei der ein jedes der beiden Schliessungsblätter seine untere Contaktschraube berührt, wenn die der Hammerfeder an ihrer Berührungsschraube anliegt. Wird der Anker angezogen, so geht der ihm näher liegende Arm des Waagebalkens des Hebelwerkes hinab und der andere hinauf. Jedes der beiden Schliessungsblätter verlässt dann seine untere Berührungsschraube und steigt bis zu dem Contakte mit der oberen empor. Ist also der erste, das Hammerwerk treibende elektrische Kreis geschlossen, so wird der zweite unten und nach Oeffnung desselben oben vervollständigt. Jener arbeitet wie an dem Wagner'schen Hammer des Magnetelektromotoren, dieser dagegen in verwickelterer Weise.

Die beiden Poldrähte der zweiten Kette, deren Stromesrichtung fortwährend gewechselt werden soll, kommen in die zwei Tragsäulen, die oben mit den beiden Schliessungsblättern metallisch zusammenhängen. Man befestigt gewöhnlich die zwei Ableitungs-

drähte in die beiden vorderen Ableitungssäulen. Hat man sie aber in die zwei hinteren eingefügt, so kreuzen sich die Stromesrichtungen im Vergleich zu dem ersteren Falle.

Denken wir uns, die Ableitungsdrähte befinden sich in den vorderen Säulen und der positive Strom der zweiten Kette trete in die rechte Polsäule, so geht er bei der unteren Berührung (wenn also der das Hammerwerk treibende Kreis geschlossen ist) durch das rechte Schliessungsblatt in die rechte hintere Ableitungssäule, gelangt von da durch einen der beiden gekreuzten Drähte zu der linken vorderen Ableitungssäule, kommt aus dem äusseren Bogen des Kreises zur rechten vorderen Ableitungssäule zurück und läuft durch den zweiten Kreuzungsdraht zur linken hinteren Polsäule, welche den negativen Poldraht der zweiten Kette aufgenommen hat. Man erhält also hier eine Kreuzung der Stromwege. Die obere Berührung dagegen (die während der durch die Ankeranziehung erzeugten Unterbrechung des treibenden Kreises eingeleitet wird) lässt den Strom von der rechten Polsäule durch das rechte Schliessungsblatt nach der oberen Berührungsschraube gehen, dann durch die Ableitungssäule der rechten Seite in den äusseren Bogen treten, von hier zur linken zurückkommen und dann zur linken oberen Berührungsschraube, dem linken Schliessungsblatte und der linken Polsäule verlaufen. Die zwei einander kreuzenden Drähte stören diesen Gang nicht, weil jetzt die metallische Verbindung der Schliessungsblätter mit den hinteren Ableitungssäulen aufgehoben ist. Die Kreuzung der Stromesrichtungen fehlt in diesem Falle.

Wir sehen hieraus, dass wir einen geraden Schluss der zweiten Kette in einer gegebenen Richtung haben, wenn der das Hammerwerk treibende Kreis offen ist. Wird er geschlossen, so stellt sich ein gekreuzter Schluss des zweiten Kreises, also eine der früheren entgegengesetzte Stromesrichtung für diesen her. Der Stromwechsel kommt je einmal zu Stande, während sich der Kreis des Hammerwerkes öffnet und schliesst. Da man die Schnelligkeit dieses Spieles durch die Stromstärke der treibenden Kette und die Einstellung der Berührungsschraube in Händen hat, so kann man auch die Menge der der Zeiteinheit entsprechenden Umkehrungen der

Stromesrichtung der zweiten Kette innerhalb gewisser Grenzen beliebig ändern.

Der Leitungswiderstand, welchen der Strom der treibenden Kette antrifft, bleibt immer klein trotz der die Eisenkerne umwindenden Spiralen. Man kann daher das Hammerwerk schon durch ein schwaches Element spielen lassen. Die oben erwähnte Noë'sche Thermosäule setzt die Feder in Bewegung, nachdem sie kaum eine Minute lang durch eine kleine Flamme einer gewöhnlichen Weingeistlampe geheizt worden. Die zweite Kette darf natürlich eine beliebige Stromstärke besitzen. Es versteht sich von selbst, dass alle irgend merklichen Induktionswirkungen ihrem Kreise fehlen.

Man kann sich wiederum durch das Galvanometer oder durch die Ausscheidung von Jodstärke überzeugen, dass die Vorrichtung bei passender Einstellung zuverlässig arbeitet.

Wir wollen nicht darauf eingehen, wie etwa der hämmernde Stromwender für physikalische Versuche dienen könnte, sondern nur vier physiolgische Gebrauchsarten desselben andeuten.

### a. Tetanisation mit abwechselnd entgegengesetzt gerichteten Thermo- oder Hydroströmen.

Diese Benutzungsweise führte mich zuerst auf den Gedanken, einen Stromwender, wie den hier beschriebenen, anfertigen zu lassen. Die gewöhnlichen Wechselströme des Magnetelektromotors geben immer physiologisch schwächere Schliessungs- und stärkere Oeffnungs Induktionsströme. Wir haben oben gesehen, dass man vor diesem Uebelstande nicht gesichert ist, wenn man auch die physiologischen Erfolge beider möglichst gleich gemacht zu haben glaubt. Die Gefahr, dass sich elektrotonische Wirkungen bei der Prüfung der negativen Schwankung einschleichen, ist schon aus diesem Grunde vorhanden. Die eigenthümliche Ablenkungswirkung des Magnet-Elektromotors kann sie noch vergrössern. Sie fällt bei dem Gebrauche des hämmernden Stromwenders ganz hinweg. Man hat dabei noch einen anderen Vortheil.

Jeder Strom sucht die Nervenmolecüle in seinem Sinne zu richten. Ist der Oeffnungs-Induktionsstrom stärker als der Schliessungsstrom, so greift er auch in dieser Beziehung kräftiger ein.

Er stimmt die Nerven in seinem Sinne um. Sein Vorherrschen erschöpft ihn auch früher. Die Tetanisation durch den gut eingestellten hämmernden Stromwender ist um vieles reiner, weil jede Ungleichheit der beiden entgegengesetzt gerichteten Ströme hinwegfällt. Die elektrische Misshandlung wird hier später verstimmen oder lähmen, weil genau das, was der erste Strom geändert hat, wiederum von dem zweiten in entgegengesetztem Sinne geändert wird, es sei denn, dass die elektrische Rückwirkung der Nervenmolecüle in der Zwischenzeit in eigenthümlicher Weise einwirken könnte.

b. Tetanisation mit gleichgerichteten Thermo- oder Hydroströmen.

Man führt zu diesem Zwecke die beiden Stellschrauben der Schliessungsblätter so weit in die Höhe, dass keine obere Berührung bei dem Spiele des Hammerwerkes stattfindet. Der untere Schluss bleibt dann allein übrig. Die Zahl der bei einseitiger Stromesrichtung in der Zeiteinheit erfolgenden Schliessungen und Oeffnungen ist unter passenden Nebenbedingungen halb so gross, als die, welche die unter *a.* erläuterte Einstellungsweise gibt. Alle merklichen Extraströme fallen natürlich von selbst hinweg.

c. Dauernder Kettenschluss in einseitiger Richtung.

Man öffnet den das Hammerwerk treibenden Kreis. Die beiden Schliessungsblätter liegen dann auf den unteren Stellschrauben und der zweite Strom ist in einer Richtung bleibend geschlossen. Drückt man den Anker mit dem Finger herunter, so schliesst sich der Kreis dauernd in entgegengesetzter Richtung. Diese Gebrauchsweise ist für elektromotorische Studien besonders bequem. Lässt man das Hammerwerk gehen, so kann man die negative oder positive Schwankung schon bei dem Gebrauche eines sehr schwachen Stromes beobachten. Der dauernde Schluss in den zwei einander entgegengesetzten Richtungen gibt die beiden Phasen des Elektrotonus für dieselbe Stromstärke, welche die Schwankung erzeugte.

d. Paarige Wechselströme des Magnetelektromotors.

Verbindet man den hämmernden Stromwender mit der Hauptrolle eines Magnetelektromotors, so erzeugt der erste Schluss der

zweiten Kette einen Schliessungsinduktionsstrom und einen ihm entgegengesetzt gerichteten Oeffnungsstrom. Der Schliessungs-Induktionsstrom des zweiten Schlusses hat dieselbe Richtung, wie der vorhergehende Oeffnungsstrom, weil die des erregenden Stromes umgekehrt werden. Man erhält also immer paarweise gleichgerichtete Wechselströme, die physiologisch anders wirken werden, als die gewöhnlichen einfachen.

## XXXI. Die Ursachen der Stimmungsänderung der Nerven des galvanischen Froschpräparates.

Der ausschliessliche Gebrauch galvanischer Froschpräparate für das Studium der Nervenwirkungen hinderte die Erkenntniss des im Leben giltigen Zuckungsgesetzes mehr als ein halbes Jahrhundert hindurch. Die in der Wissenschaft, wie in dem Leben nur schwer auszurottende Macht der Gewohnheit bedingt es, dass man an solchen Präparaten bis zur Gegenwart fortarbeitete und die verschiedenen künstlich erzeugten Stimmungszustände bei der Aufstellung eines Zuckungsgesetzes und der Erforschung mancher anderer Beziehungen der Nerventhätigkeit nicht berücksichtigte. Es dürfte daher nicht überflüssig sein, die Nebenbedingungen anzugeben, unter denen der Nerv des galvanischen Froschpräparates anders, als der lebende unversehrte Nerv antwortet.

Das Verfahren, ihn durch Einstichsnadeln, welche die Enden der Leitungsdrähte des erregenden galvanischen Kreises bilden, zu prüfen, liefert nicht nur keine unzuverlässigen Ergebnisse, sondern gewährt sogar noch einen Nebenvortheil. Der dichteste Stromtheil, der ein Gebilde durchsetzt, sucht sich natürlich den kürzesten Weg des geringsten Leitungswiderstandes. Stromesschleifen von geringerer Stärke, fliessen dann durch die Nachbartheile nach Maassgabe der Widerstände derselben. Leitet der Nerv die Elektricität nach Eckhard[1]) ungefähr eben so gut, als die Sehne, dagegen 1.6 Mal schlechter, als der Muskel, so wird in der Regel die geprüfte Nervenmasse einen schwächeren Stromzweig empfangen, als

1) C. Eckhard, Grundzüge der Physiologie des Nervensystems. Giessen. 1854. 8. S. 38.

wenn die Elektroden den Nerven des galvanischen Froschpräparates allein verbänden. Sie wird daher auch durch wiederholte Reizung weniger in ihrer Stimmung geändert und in dem Laufe fortgesetzter Versuche in geringerem Grade erschöpft werden.

Will man sich überzeugen, dass der Gebrauch der Einstichsnadeln die Ergebnisse nicht ändert, so stellt man sich ein Hüftgeflechtpräparat des Frosches, wie es in der vorhergehenden Abhandlung beschrieben worden, dar. Prüft man das Hüftgeflecht mit Einstichsnadeln, so erhält man das Zuckungsgesetz des lebenden Nerven, d. h. blosse Schliessungszuckungen bei beiden Stromesrichtungen, selbst bei sehr starken Batterieen, wenn das Präparat von einem grossen, kräftigen Frosch stammt. Kleinere Thiere, solche die lange ohne Nahrung aufbewahrt worden, die, welche sich in der Laichzeit befinden, geben oft doppelte Wirkungen, bei denen die Schliessungszuckung kräftiger, als die Oeffnungszusammenziehung schon bei nicht sehr starken Strömen ausfällt. Nimmt man aber eine hinreichend schwache Kette oder stuft den erregenden Kreis durch einen Rheochord oder dadurch ab, dass man einen Rheostaten oder auch nur einen Kupferdraht zur Hauptschliessung verwendet, den Nerven also nur zu einem Theile einer Nebenschliessung macht, so gelangt man immer zu einer Stromstärke, die das Zuckungsgesetz der lebenden Nerven in voller Reinheit gibt. Es kann bei Strömen, die an der Grenze der Wirkungslosigkeit liegen, vorkommen, dass nur die eine der beiden Stromesrichtungen eine Schliessungszusammenziehung, die andere hingegen keine sichtliche Wirkung gibt.

Habe ich diese Vorversuche angestellt, so entferne ich die Einstichsnadeln und schiebe ein passend gestaltetes Deckgläschen zwischen die beiden Hüftgeflechte und die hinter ihnen liegenden Gewebmassen. Die gleichzeitige Reizung der drei grösseren Stämme des Hüftgeflechtes (N. N. inguinalis, cruralis und ischiadicus) oder jedes einzelnen von ihnen mit metallischen oder mit unpolarisirbaren Elektroden führt zu dem Zuckungsgesetze des lebenden Nerven, wie früher. Werden die Nerven durch das Einschieben des Gläschens gezerrt, so liefern häufig dieselben Stromstärken, die blosse Schliessungszuckungen früher gaben, doppelte Wirkungen. Schwächere Ströme lassen auch hier die Oeffnungszuckung

hinwegfallen. Zerstört man den noch vorhandenen Theil des Rückenmarkes, so erhält sich immer noch das frühere Zuckungsgesetz.

Ich lege hierauf den Hüftnerven ohne alle verletzende Berührung bloss und entferne die übrigen Theile des Oberschenkels, so dass jener allein Becken und Unterschenkel verbindet. Die Prüfung des Hüftgeflechtes, des oberen, des mittleren oder des unteren Bezirkes des Hüftnerven führt zu denselben Ergebnissen, wie früher. Dieser Charakter der Antworten ändert sich in der Regel nicht, wenn ich den Nerven der Länge nach dadurch ausziehe, dass ich ihn spannend um eine Glasröhre wickele, oder den Unterschenkel von dem Beckentheile in gerader Linie möglichst entferne. Der Eingriff hat höchstens zur Folge, dass stärkere Ströme zur Erzeugung der Zuckungen nothwendig werden oder alle Empfänglichkeit zuletzt geschwunden ist. Es gehört zu den im Ganzen seltenen Ausnahmen, dass eine der beiden Stromesrichtungen eine etwas stärkere Oeffnungs- als Schliessungszuckung in allen oder nur in einigen Versuchen gibt. Schneidet man aber jetzt den obersten Theil des Hüftnerven mit einer nicht allzuscharfen Scheere durch, so erzeugt der hinreichend schwache absteigende Strom nur eine Schliessungs-, und der aufsteigende blos eine Oeffnungszuckung, d. h. die unter dem Namen des Pfaff-Ritter'schen oder des Marianini'schen Gesetzes bekannte regelwidrige Antwortsart der misshandelten Nerven des galvanischen Froschpräparates. Die Trennung der Hauptstämme des Hüftgeflechtes unmittelbar an ihrem Austritte aus der Wirbelsäule hebt das Zuckungsgesetz der lebenden Nerven in anderen ähnlichen Präparaten nicht auf.

Man kann den gesonderten Hüftnerven durch eine aufgelegte Glasplatte in einer längeren oder mit der Pincette in einer kürzeren Strecke schwach, oder das Hüftgeflecht so stark zusammendrücken, dass Zuckungen entstehen; man kann beide mit zwei Pincetten in der Richtung ihres Querschnitts zerren, ohne dass sich das Zuckungsgesetz des lebenden Nerven verwischt. Eine der beiden Stromesrichtungen gibt höchstens vorübergehend eine etwas stärkere Oeffnungs- als Schliessungszuckung. Die einseitigen Wirkungen des galvanischen Froschpräparates treten aber sogleich ein,

so wie man den auf jene Weise misshandelten Nerven so hoch oben als möglich durchschnitten hat.

Vollführt man dieses an dem ohne Berührung blossgelegten und noch von den Oberschenkelgebilden umgebenen Hüftnerven, so antwortet er immer noch wie der lebende Nerv. Fasst man ihn hierauf an seinem quer getrennten Theile mit der Pincette und zieht ihn an dieser bis zur Kniegegend heraus, so dass alle am Oberschenkel abgehenden Seitenäste abreissen, so ist die regelrechte Wirkung verloren. Es kann dabei in der ersten Zeit vorkommen, dass sich Wechselkrämpfe nach der Schliessungs- und besonders nach der Oeffnungs-Zusammenziehung einstellen und sie nach dieser stärker und anhaltender, als nach jener erscheinen, der Strom sei, wie er wolle, gerichtet.

Wir sehen hieraus, dass weder die Durchschneidung des unversehrten, in seiner natürlichen Lage befindlichen Nerven, noch die Längsdehnung oder eine mässige Querzerrung desselben allein die einseitige, mit der Stromesrichtung wechselnde krankhafte Stimmung der galvanischen Froschpräparate erzeugt. Ist aber der Nerv auf eine dieser Arten misshandelt worden, so dass er schwächer antwortet oder doppelte statt der einfachen, dem Zuckungsgesetze des lebenden Nerven entsprechende Wirkungen gibt, so drückt gleichsam die Durchschneidung das Siegel auf, so dass von nun an die absteigende Stromesrichtung nur eine Schliessungszuckung und die aufsteigende eine Oeffnungszuckung bei dem Gebrauche hinreichend schwacher Ströme liefert.

Will man nicht Zeit und Mühe dadurch verlieren, dass man mit einer krankhaften, meist nicht berechenbaren Nervenstimmung arbeitet, so wird man die Einstichsnadeln in erster Linie gebrauchen. Ist man aber genöthigt, den Hüftnerven gesondert zu prüfen, wie z. B. bei der quantitativen Untersuchung der elektromotorischen Eigenschaften, so wird man ihn am besten als alleiniges Verbindungsglied zwischen Becken und Unterschenkel lassen, nicht aber in seinem obersten Theile durchschneiden. Der oben beschriebene hämmernde Stromwender macht es möglich, reine Versuche der Art bei dem Gebrauche sehr schwacher und daher nicht verstimmender Ströme an solchen Präparaten zu oft wiederholten Malen anzustellen.

# Zur Frage der Substitution des Kalkes in den Knochen.

Von

J. König in Münster.

In Heft IV S. 428—431 des vorigen Jahrgangs dieser Zeitschrift unterwirft H. Weiske meine mit seinem Ergebnisse in Widerspruch stehenden Versuche[1]) über Substitution des Kalkes in den Knochen durch andere Erdmetalle einer Besprechung, welche mich zu einer Erwiderung veranlasst. Weiske kann nach Beifütterung von Strontiumphosphat zu einem selbst kalkfreien Futter in den Knochen der betreffenden Thiere (Kaninchen) nur Spuren von Strontian nachweisen, während ich unter analogen Verhältnissen wägbare und nicht unbedeutende Mengen fand.

Weiske bezweifelt zunächst, dass die von mir verwendete Futterration kalkarm gewesen ist, und zieht die Menge assimilirten Kalkes eines 150 Kilo schweren Kalbes zum Vergleiche heran, welche 0.12 Grm. auf 1 Kilo Lebendgewicht und Tag betrug, während meine Kaninchen für nahezu gleiches Körpergewicht in der täglichen Futterration 0.16 Grm. Kalk erhielten. Dieser Vergleich scheint mir aber durchaus unzulässig, weil der kleinere Organismus ein relativ viel grösseres Nahrungsbedürfniss hat, als der grössere Organismus. So findet F. Stohmann[2]) für ein gleiches Quantum Körpergewicht das Nahrungsbedürfniss einer Ziege als kaum hinreichenden Bedarf für deren Milchproduktion fast doppelt so gross als das einer Kuh, und J. Ranke[3]) weist nach, dass von Thieren sogar einer und derselben Race (Kaninchen) die jüngsten und

1) Diese Zeitschrift 1874. S. 69 und Landw. Jahrbücher 1874 S. 421.

2) Biologische Studien von F. Stohmann. Braunschweig 1873. S. 80—81.

3) Die Blutvertheilung und der Thätigkeitswechsel der Organe von J. Ranke. Leipzig 1871. Kapitel I.

kleinsten relativ mehr Nahrung bedürfen und einen bedeutenderen Stoffwechsel haben, als die grösseren und älteren Thiere; die von mir täglich an 2 junge Kaninchen verabreichte Futterration entspricht in ihrem Trockensubstanzgehalt 125—135 Grm. Wiesenheu, welches, weil aus Gräsern bestehend, als natürliches Futter für Kaninchen angesehen werden kann. Da 100 Grm. desselben 0.85 Grm. Kalk enthalten, das zusammengesetzte Futter aber nur 0.16 Grm., so habe ich gesagt: „Es kann daher das Futter im Vergleich zu Wiesenheu als kalkarm bezeichnet werden."

Den Grund unserer widersprechenden Resultate glaubt Weiske ferner aus meiner fehlerhaften Untersuchungsmethode herleiten zu können, indem ich den Gesammtknochen und nicht wie er die gereinigte Knochensubstanz zur Untersuchung verwendet habe. Weiske befreit zunächst — und dieses geschah auch von mir — den Knochen von äusserlichen Anhängseln, behandelt ihn successive mit Aether, Wasser und trennt zuletzt mechanisch das Mark von der eigentlichen Knochensubstanz, welche letztere ihm zur ausschliesslichen Untersuchung dient. Durch Wasser und Aether kann kein phosphorsaures Strontium, wenn es zugegen war, aus den Knochen weggeführt sein; ob also der von mir gefundene Strontian allein im Mark abgelagert gewesen sein kann, sollen fernere Versuche zeigen. Aber, könnte man schon jetzt fragen, gehört denn das Mark nicht zur Constitution der Knochen?

Weiske hält endlich meine Trennungsmethode des Strontians vom Kalk für eine fehlerhafte, scheint aber übersehen zu haben, dass ich deren Schärfe spektralanalytisch geprüft habe. Das salpetersaure Strontium ist durch seinen krystallinischen Zustand von dem zerfliesslichen salpetersauren Calcium äusserlich schon so unterschieden, dass, wenn nach Behandeln der neutralen salpetersauren Salze mit Aether-Alkohol eine mehr oder minder erhebliche Menge eines krystallinischen Pulvers verbleibt, wie es stets von mir beobachtet wurde, letzteres wesentlich nur aus salpetersaurem Strontium bestehen kann. Dasselbe schliesst nun allerdings bei einmaliger Trennung stets noch etwas salpetersaures Calcium mit ein, wesshalb die Trennung stets zweimal vorgenommen wurde; als das salpetersaure Strontium in einem Falle dreimal gereinigt

war, wodurch der Strontiangehalt von 5.37 % auf 4.61 % herunterging, konnte, wie ich S. 429 in „Landw. Jahrbücher“ angeführt habe, in dem Rückstand spektralanalytisch kein Kalk mehr nachgewiesen werden. In den zwei anderen Fällen ergab die Spektralanalyse noch schwache Kalkreaktion, aber es gelang auch umgekehrt, in der ätheralkoholischen Lösung des salpetersauren Calciums Strontian nachzuweisen. Ich sage daher S. 430: „Wenn somit die Trennungsmethode des Strontians von Kalk auch keine exakte genannt werden kann, so glauben wir doch annehmen zu müssen, dass obige Procentzahlen für Strontian gewiss nicht zu hoch sind, dass sich die Fehler ausgleichen, indem einerseits der Strontian etwas Kalk einschliesst, anderseits auch etwas Strontian durch den Aether-Alkohol in Lösung geht.“ Aus letzterem Umstand erklärt sich auch, dass die Menge Strontian bei zwei- oder dreimaliger Trennung nicht unwesentlich abnahm.

Dass die Strontiankaninchen verhältnissmässig bald und eher als die Magnesiakaninchen dem Tode verfielen, hat vielleicht, wie ich auch früher gesagt habe, darin seinen Grund, dass die Strontiansalze ähnlich wie die Barytsalze auf die Dauer giftig auf den Organismus wirken.

---

# Ueber ein Reagens zur Unterscheidung der freien Kohlensäure im Trinkwasser von der an Basen gebundenen.

Von

**Max v. Pettenkofer.**

Bei Gelegenheit früherer Mittheilungen [1]) über die Bestimmung der Kohlensäure im Trinkwasser habe ich schon darauf aufmerksam gemacht, dass die Kohlensäure im Trinkwasser, auf welche die öffentliche Meinung beim Genusse und bei der Wahl eines Wassers gewöhnlich so hohen Werth legt, nur selten frei im Wasser absorbirt ist, sondern in der Regel an Basen, namentlich an Kalk und Bittererde gebunden ist, welche als doppelt-kohlensaure Salze im Wasser gelöst sind, und dass namentlich in den Quellen und Brunnen aus der Kalkformation in der Regel keine Spur mehr Kohlensäure enthalten ist, als zur Bildung der im Wasser enthaltenen doppelt-kohlensauren Salze erforderlich ist. In München und Umgebung darf man nach meiner Erfahrung mit aller Bestimmtheit annehmen, dass in einem Wasser um so mehr Kalk enthalten ist, als es mehr Kohlensäure enthält, dass man daher das Verlangen nach einem kohlensäurereicheren Wasser nicht ohne die äquivalente Beigabe von Kalk und Bittererde stillen kann. Ich habe ferner nachgewiesen, dass die Kohlensäure in den Quellen und Brunnen Münchens nicht erst im Grundwasser sich bildet, oder diesem durch kohlensäurehaltende Gasquellen aus tieferen Schichten zugeführt wird, sondern dass sie aus der über dem Wasser stehenden Grundluft stammt, [2]) in welcher sie sich nur durch Verwesung organischer

1) Sitzungsberichte der b. Academie der Wissenschaften 1860 S. 289 und 1871 S. 170.

2) Sitzungsberichte der b. Academie der Wissenschaften 1871 S. 294.

Substanzen erzeugen kann. In hygienischer Beziehung ist daher in München, wie überhaupt in allen Kalkformationen das kohlensäurereichere Wasser selten das bessere und reinere, weil man mit der Kohlensäure auch manche andere Stoffe mit in den Kauf nehmen muss, die man sonst gerne vermeiden möchte.

Daraus, dass organische Substanzen im lufthaltigen Boden die Quelle der vermehrten Kohlensäure in der Grundluft, und diese die Kohlensäurequelle für das Grundwasser ist, erklärt sich auch sehr einfach, dass stellenweise aus dem Boden ein und derselben Kalkformation Wasser von so verschiedenen Härtegraden kommen kann, je nachdem eben das atmosphärische Wasser, bis es sich in grösseren Massen sammelt, durch Schichten dringt, welche mehr oder weniger organische, in Verwesung begriffene Substanzen enthalten. Wenn das Drainage-Gebiet einer Quelle aus einem Kalkgebirge ohne Vegetation ist, oder sehr geringe Vegetation nur hat, so können mitten im Kalk solche Quellen entspringen, wie z. B. der Fürstenbrunnen am Untersberge ist, mit dessen äusserst weichem Wasser gegenwärtig die Stadt Salzburg versorgt wird.

In dem Maasse, als im feuchten Kalkboden Kohlensäure entsteht, wird diese Kohlensäure auch sofort vom kohlensauren Kalke des feuchten Bodens gebunden, und geht in die Quellen nicht als Kohlensäure, sondern als doppelt-kohlensaures Salz über. Freie Kohlensäure im Wasser wird man daher mehr in Granitformationen, als in anderen kohlensauren Kalk enthaltenden Formationen erwarten dürfen, wenn nicht unterirdische Gasquellen beträchtliche Mengen Kohlensäure dem Wasser direkt zuführen, und es sättigen, ehe sich die Kohlensäure mit kohlensauren Erden oder Alkalien sättigen kann.

Es wäre gewiss nicht ohne Interesse, wenn man jedes Wasser sofort und leicht darauf prüfen könnte, ob es wirklich freie, ungebundene Kohlensäure besitzt oder nicht. Ich habe schon früher im Kalkwasser ein solches Mittel angegeben. Lösungen von doppeltkohlensaurem Kalk und doppelt-kohlensaurer Bittererde reagiren nicht auf Curcumapapier. Tropft man einem Wasser, durch welches man reine Kohlensäure geleitet hat, Kalkwasser zu, so reagirt es erst dann auf den Curcumafarbstoff, wenn mehr Kalkhydrat beige-

mischt worden ist, als dass auf 1 Aequivalent 2 Aequivalente Kohlensäure kommen. Bringt man hingegen zu einer Lösung von doppelt-kohlensaurem Kalk, wie unsere gewöhnlichen Quell- und Brunnen-Wasser sind, nur einige Tropfen Kalkwasser, so reagirt die Flüssigkeit sofort alkalisch, aus Gründen, welche ich schon früher mitgetheilt habe.

Dieses Verfahren ist allerdings leicht auszuführen, aber doch nicht so einfach, und gibt das Resultat nicht so unmittelbar, wie eines, dessen ich mich bediene, und welches darauf beruht, dass Rosolsäure, welche nach Kolbe durch Einwirkung von Schwefelsäure auf Carbolsäure und Oxalsäure gewonnen und gegenwärtig vielfach bei Titrirung alkalischer Flüssigkeiten und Säuren als Index benützt wird, durch kohlensaure und doppelt-kohlensaure Alkalien und alkalische Erden roth gefärbt, hingegen durch freie Kohlensäure entfärbt wird. Man löst hiezu 1 Theil reine Rosolsäure in 500 Theilen 80prozentigem Weingeist, neutralisirt diese Lösung mit etwas Aetzbaryt bis zur beginnenden röthlichen Färbung, und setzt von dieser Lösung etwa 1/2 Kubikcentimeter auf ein Volum von etwa 50 Kubikcentimeter Wasser zu. Enthält das Wasser freie Kohlensäure, so ist die Flüssigkeit farblos oder gelblich, enthält es aber keine freie Kohlensäure, sondern nur doppelt-kohlensaure Salze, so wird die Flüssigkeit roth. Giesst man zu einem durch Rosolsäure roth gewordenen Wasser etwas kohlensaures Wasser, so entfärbt sich die Flüssigkeit. Dasselbe geschieht schon, wenn man mittelst eines Glasrohres durch ein so geröthetes Wasser ausathmet, in welchem Falle die in der Athemluft enthaltene Kohlensäure entfärbend wirkt.

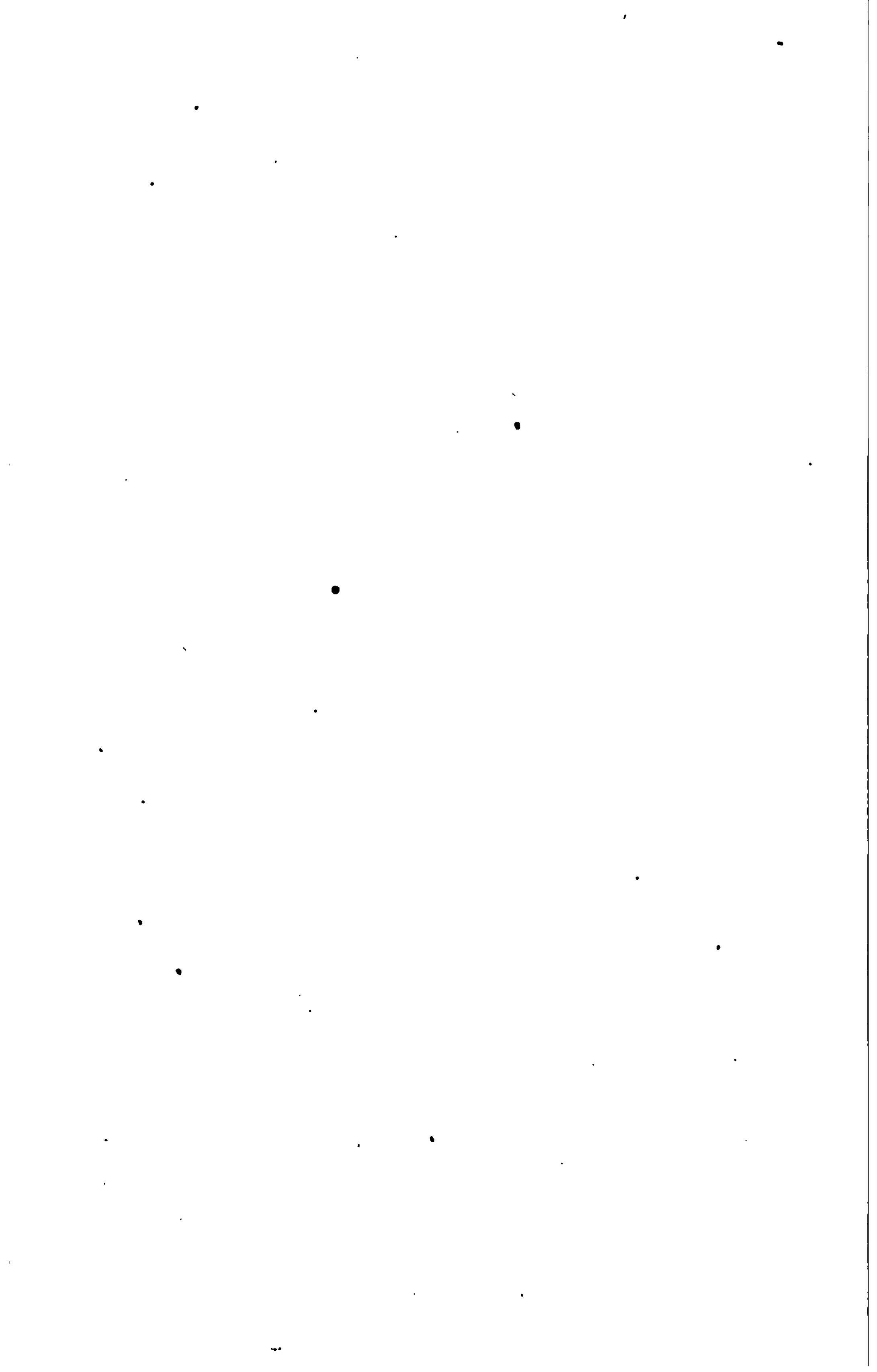
Jedes Brunnen- oder Quellwasser in München und Umgebung, welches ich noch untersucht habe, auch das Isarwasser, das Wasser der Stadtbäche wird durch Rosolsäure geröthet. Ich hatte kürzlich Trinkwasser aus Würzburg zu untersuchen, auch dieses wird ebenso, wie das Münchener Wasser geröthet.

Nicht geröthet wird destillirtes Wasser, ebenso bleibt Regen- und Schneewasser farblos.

Ich habe eine Anzahl natürlicher Mineralwasser auf freie Kohlensäure geprüft. Alle sogenannten Säuerlinge bleiben selbstver-

ständlich farblos, Selters-, Apollinaris-, Wildungen-Wasser, ebenso Kissinger Ragoczy, Weilbacher Schwefelwasser, Pyrmonter Eisenwasser und Marienbader Kreuzbrunnen. Karlsbader Sprudel und Mühlbrunnen, Emser Kränchen, bleiben zwar nicht so farblos wie die erstgenannten Wasser, aber werden doch nicht eigentlich roth, sondern nur röthlich gelb, enthalten demnach noch freie Kohlensäure, wenn auch nur wenig. Deutlich roth, wie gewöhnliches Brunnenwasser, werden Kissinger Bitterwasser und das Heilbronner jod- und bromhaltige Adelheidswasser.

Wasser, welches freie Kohlensäure absorbirt enthält, bleibt, wie schon erwähnt, auf Zusatz der Rosolsäure farblos und erträgt, bis es geröthet wird, einen um so grösseren Zusatz einer verdünnten Lösung eines Alkalis, z. B. von kohlensaurem Natron, je mehr es freie Kohlensäure enthält. Wie weit sich darauf ein Verfahren zur quantitativen Bestimmung der freien Kohlensäure im Wasser gründen lässt, müssen weitere Versuche lehren.



# Ueber die Porosität einiger Baumaterialien.

Von
C. Lang,
Assistent für Physik am k. b. Polytechnikum zu München.

(Hiezu Tafel II. u. III. und Tabelle IV. u. V.)

Bekanntlich sind bei der freiwilligen Ventilation zwei Hauptmomente in's Auge zu fassen:

1) Die Ursachen, welche eine Bewegung der Luft veranlassen; diese sind:

a) die Temperaturdifferenz innerhalb und ausserhalb der zu ventilirenden Räume;

b) das Diffusionsbestreben der zwei durch die Wände des Hauses getrennten Luftmischungen, und

c) die Stärke und Richtung des Windes im Freien.

2) Die Wege für den freiwilligen Luftwechsel; sie sind:

a) die zufällig vorhandenen Ritzen in Fenstern und Thüren;

b) die Poren der Baumaterialien.

Um die Grösse dieser Porosität kennen zu lernen, habe ich während des Sommers 1874 im hygienischen Institute dahier eine Anzahl von Baumaterialien untersucht, und war meine vorliegende Arbeit bereits zum Drucke reif, als Schürmann's Abhandlung über ein gleiches Thema erschien. Ich habe nun im Interesse der Sache meine Publikation zurückgezogen, um durch vergleichende Studien über ein paar Differenzen in unseren Resultaten gegenwärtige Frage zum Abschluss zu bringen. — Damit waren einige Controlbeobachtungen nöthig geworden, welche ich im physikalischen Laboratorium des Polytechnikums ausführte. — Meine Arbeit berücksichtigt folgende Fragen:

A. Die Permeabilität der Baumaterialien in trockenem,

B. in feuchtem Zustande,

C. die Permeabilität des trockenen Materiales für Leuchtgas;
D. ihr Verhalten in durchfeuchtetem Zustande rücksichtlich der allmählichen Wiederaufnahme ihrer ursprünglichen Permeabilität, wenn ein constanter Luftstrom auf sie einwirkte;
E. ihr Wasserfassungsvermögen.

## A.

Graham[1]) war der Erste, der genauere Versuche über die Diffusion der Gase durch trockene und poröse Scheidewände anstellte. — Er liess verschiedene Gase durch einen Gypspfropf in die freie Luft diffundiren, und fand, dass die ausgetauschten Gasmengen den Quadratwurzeln aus den Dichtigkeiten umgekehrt proportional sind. — Derselbe nahm an, dass die Diffusionsgeschwindigkeiten mit den Ausflussgeschwindigkeiten verschiedener Gase aus Oeffnungen einer dünnen Wand genau übereinstimmen. Gleichzeitig fand er auch, dass Diffusion durch andere minder poröse Körper und selbst durch Platten scheinbar unporöser Materialien vor sich gehe.

Das Verdienst, diese Thatsachen mit der Ventilationsfrage in Beziehung gebracht zu haben, gebührt v. Pettenkofer[2]), der zu Graham's Beobachtungen bemerkte: „Wenn der Austausch, die Diffusion von zwei verschiedenen Gasen durch eine gegossene und dann getrocknete Gypswand so rasch von statten geht, so werden wir zu der Annahme genöthigt, dass sie durch eine trockene Scheidewand von Mörtel noch rascher gehen müsse; wenn die Diffusion durch Platten körnig-blättriger Mineralien vor sich geht, so muss sie auch durch unsere porösen Ziegelsteine gehen."

Später wies Bunsen[3]) experimentell nach, dass eine poröse Scheidewand sich nicht wie ein System von Oeffnungen in dünner Wand verhalte, sondern dass die Gase bei der Diffusion sich wie bei dem unter constantem Drucke stattfindenden Durchfliessen durch eine poröse Scheidewand verhalten, dass nämlich die Diffusionsgeschwindigkeiten innerhalb gewisser Grenzen proportional sind:

---

1) Poggendorff's Annalen XVII und XVIII.
2) Dingler's polyt. Journ. 1851.
3) Gasometrische Methoden, Braunschweig 1857.

1) der Druckdifferenz des Gases auf der einen und der anderen Seite der porösen Scheidewand,

2) den Reibungscoëfficienten, welche abhängen von den einzelnen Gasen selbst und der porösen Scheidewand.

Ebenso fand O. E. Meyer[1]) die durch Capillarröhren unter Druck strömende Gasmenge diesem Drucke proportional.

v. Pettenkofer[2]) hat ferner erwiesen, dass der Ort des Luftaustausches bei der freiwilligen Ventilation im Zimmer im Wesentlichen nicht so fast in den absichtlich oder unabsichtlich gemachten Oeffnungen der Gebäude, als in den Poren des Materiales selbst zu suchen sei. — Dass die Grösse des Luftaustausches bei Ziegelwänden sehr bedeutend sein müsse, geht aus einem seiner Versuche hervor, bei dem Fenster und Thürritzen sorgfältig verklebt worden waren; es hat hiebei die Ventilation nur um den vierten Theil weniger betragen, als an einem anderen Tage, wo die Temperatur-Differenz zwar 1° C. mehr betrug, dagegen Fenster und Thüren zwar geschlossen, aber nicht verklebt waren.

Oberbau-Direktor v. Pauli hat die Ventilationsgrösse der Mauern von v. Pettenkofer's Arbeitszimmer, welches 75 Kubikmeter lichten Raum enthält, für 1 □mtr. Wandfläche, 1 Stunde und 1°C. Temperatur-Differenz berechnet und hiefür 0.245 Kubikmtr. gefunden.

Aehnliche Versuche wie v. Pettenkofer machten auch Schultze[3]) und Märker[4]).

Letzterer fand die Ventilationsgrösse für 1 □mtr. und 1°C Temperaturdifferenz per Stunde bei Wänden von:

| | | |
|---|---|---|
| Sandstein . . . . . . . | 1.69 | Kubikmtr. |
| Kalkbruchstein . . . . | 2.32 | „ |
| Backstein . . . . . . . | 2.83 | „ |

1) Poggendorff's Annalen CIII.

2) „Luftwechsel in Wohngebäuden". Abh. der naturwiss.-techn. Commission bei d. k. b. Akad. d. W. in München. Bd. II.

3) Journ. für Landwirthschaft. 17. Jahrgang.

4) Untersuchungen über natürliche und künstliche Ventilation in Stallgebäuden. Deuerlich'sche Buchhandlung, Göttingen 1871.

Kalktuffstein . . . . . 3.64 Kubikmtr.
Lehmstein . . . . . . . 3.21 „ [1])

Die auffällige Erscheinung, dass Kalkbruchsteinmauern durchlässiger als Sandsteinmauern sind, hat ihren Grund in dem Umstande, dass die Mörtelquantität, welche zu Aufmauerungen der ersteren verwendet wird, die bei Sandsteinmauern verwendete bedeutend übertrifft[2]), und der Luftmörtel nach v. Pettenkofer's Untersuchungen ein sehr poröses Material ist.

v. Pettenkofer hat nämlich auch[3]) von einzelnen Materialstücken, von Mörtel, Ziegel, Holz, Sandstein und Bruchstein die Permeabilität dadurch constatirt, dass er aus dem betreffenden Materiale einen Cylinder formte, und diesen auf der Mantelfläche mit einer luftdichten Schicht überzog; er setzte nun einen mit Röhrenansatz versehenen Glastrichter auf eine der freien Kreisflächen des Materiales, und kittete ihn mittels Klebwachs mit der luftdichtgemachten Mantelfläche an dem Rande zusammen. — Ebenso verfuhr er auf der anderen freien Kreisfläche, mit der Modification, dass er hier den Röhrenansatz in eine Spitze auszog, und so den Luftdurchgang leicht sichtbar machen konnte, indem er die Luft durch das Material hindurch z. B. gegen eine Lichtflamme blies. — Dasselbe konstatirte er an einem ganzen Mauerstücke aus Backsteinen von ungefähr 0.3 □ mtr. Fläche und 34 Centimtr. Dicke. Es wurde mit Luftmörtel auf luftdichter Grundfläche aufgeführt, an den drei übrigen schmalen Flächen mit einer luftdichten Schicht überzogen, während die beiden breiten Flächen mit Metallplatten bekleidet waren. Diese Platten waren von je einer Röhre durchbohrt, um die Luft ein- und auszuführen. Auch bei dieser Vor-

1) Diese letzte Zahl ist aus einer früheren Abhandlung Märker's „Ueber den Kohlensäuregehalt der Stallluft und den Luftwechsel in Stallungen“ entnommen.

2) Bekanntlich wird die Mörtelmasse in Anschlag gebracht bei

| | |
|---|---|
| Kalkbruchstein $^1/_3$ | des ganzen Mauerkubus. |
| Kalktuffstein $^1/_4$ | |
| Backstein $^1/_5$ bis $^1/_6$ | |
| Sandsteinquadern $^1/_6$ bis $^1/_8$ | |

3) „Beziehungen der Luft zu Kleidung, Wohnung und Boden“. Braunschweig, 1873.

richtung, die bereits vielfach zu Vorlesungszwecken benützt wird, ist die Permeabilität auf obige Weise noch sehr gut sichtbar zu machen.

Neuerdings hat Dufour[1]) Beobachtungen über die Diffusion feuchter Luft angestellt und Folgendes gefunden:

1) Der ungleiche Austausch verschieden feuchter Luft hängt ab von der Differenz der Spannkräfte des Wasserdampfes auf beiden Seiten der Scheidewand.

2) Die Druckmehrung oder Druckminderung ist dieser Differenz nahezu proportional.

3) Die Temperatur scheint nur indirekten Einfluss zu haben, insoferne sie grössere oder geringere Differenzen der Spannkräfte veranlasst.

Es dürfte auch diese Arbeit von hohem Belang bezüglich der Permeabilität des Baumateriales sein, da ja durch Beheizen der Wohnräume die Differenz der Spannkräfte vergrössert wird, zugleich der gasförmige Wasserdampf seine Wanderung in die Mauer antritt, hier theilweise condensirt wird, und dadurch wie aus der Versuchsreihe *B* ersichtlich sein wird, eine Verringerung der Permeabilität hervorruft.

In der allerneuesten Zeit hat Schürmann[2]) eine verdienstvolle Arbeit „über natürliche Ventilation und den Einfluss der Baumaterialien auf dieselbe" veröffentlicht. Er sagt, dass unter sonst gleichen Umständen die Durchlässigkeit direkt proportional ist dem Querschnitte, umgekehrt proportional der Dicke der Wände und ungefähr proportional dem Drucke.

Im Weiteren vindicirt er den grössten Theil der natürlichen Ventilation dem Mörtel; für Bruchsteinmauern ist ihm sogar allein die gesammte Ventilation zuzuschreiben. Er untersuchte auch die Permeabilität einzelner Materialien und ordnete dieselben in abnehmender Reihe wie folgt:[3])

---

1) Sur la diffusion entre l'air humide et l'air sec à travers une paroi de terre poreuse. Compt. rend. 78 p. 961.

2) Jahresbericht der chem. Centralstelle für öffentl. Gesundheitspflege in Dresden. III. Jahrgang.

3) Stelle ich die von mir untersuchten gleichartigen Materialien in abnehmender Reihe auf, so ergibt sich:

Sandstein, Kalktuffstein, Mörtel, hartgebrannter Ziegel, Cement, gegossener Gyps, weichgebrannter Ziegel, Lehmstein, Thon und Bruchsteine.

Ferner hat er den Einfluss von Oelanstrich und Tapezierung beobachtet und gibt an, dass ein einmalicher Oelanstrich die Poren nur sehr theilweise verschliesst, dass dagegen ein zweimaliger Anstrich[1]) von bedeutendem Einflusse ist, ohne indessen die Durchlässigkeit ganz aufzuheben. Tapezierung vermindert die Permeabilität wesentlich, jedoch um so weniger, je fester die Tapete aufgeklebt ist.[2])

Wie bei den ganzen Wänden erwies sich auch bei den, den Aspirationsbeobachtungen ausgesetzten Versuchsstücken die Durchlässigkeit proportional

a) dem Querschnitte direkt,

b) der Dicke umgekehrt,

c) dem Drucke angenähert direkt,[3])

d) der Porosität[4]) direkt und

e) den 4. Potenzen der Kerndurchmesser direkt.

---

Kalktuffstein, Mörtel, hart gebrannter Ziegel, Cement, Sandstein, weich gebrannter Ziegel, gegossener Gyps. — Man konnte bei dem von mir untersuchten Kalktuffstein dem blossen Ansehen nach schon auf dessen äusserst grosse Permeabilität schliessen; und in der That war derselbe so durchlässig, dass man bei der unter *C* angegebenen Beobachtungsvorrichtung das durch den Stein gehende Leuchtgas auf der freien Oberfläche anzünden konnte. Der auf der ganzen bayerischen Hochebene vorkommende grüne Sandstein hingegen verbindet mit bedeutender Härte auch ziemlich grosse Dichtigkeit. — Die weichgebrannten Ziegel sind in ihrer Permeabilität äusserst verschieden, so dass in dieser Beziehung verschiedene Resultate zweier Beobachter beide ihre volle Richtigkeit haben können. — Im Uebrigen stimmt unsere beiderseitige Reihenfolge überein.

1) Ich fand, dass zweimaliger Oelanstrich, so lange er noch ziemlich neu ist, die Permeabilität völlig aufhebt; älterer Oelanstrich, besonders der, welcher Witterungseinflüssen ausgesetzt ist, wird bekanntermassen allmählich rissig.

2) Ich fand, dass hierin die Art des verwendeten Klebestoffes den meisten Einfluss ausübt.

3) Schürmann gibt an der betreffenden Stelle seiner Abhandlung als wahrscheinlich an, dass die Durchlässigkeit der Potenz $\frac{6}{5}$ vom Drucke direkt proportional sei; ich fand die Durchlässigkeit der Druckdifferenz selbst direkt proportional.

4) Er benennt hier diejenigen Zahlen „Porosität", welche ich im Nachfolgenden „Wasserfassungsvermögen nach Gewichtsprozent" zu heissen vorzog. Es muss ja ein Körper in seinen inneren Theilen viele abgeschlossene Poren besitzen, zu welchen dem umgebenden Wasser kein Weg offen steht. —

Bevor ich zur Besprechung der von mir gefundenen Resultate übergehe, erübrigt mir noch, von einem der untersuchten Materialien Einiges zu sagen, da dasselbe bei uns in technischen Kreisen noch kaum bekannt sein dürfte. Es sind dies Hochofenschlackensteine aus der Stein- & Trassfabrik von Lürmann, Meyer und Witting in Osnabrück. Zur Herstellung derselben dienen mehrere Dampfziegelpressen. Die Schlacke wird in granulirtem Zustande mittels einer Mörtelmischmaschine mit gelöschtem Kalke gemischt, gepresst und zum Trocknen und Erhärten der Luft ausgesetzt. Die granulirte Hochofenschlacke enthält lösliche Kieselsäure und erhärtet, gepresst für sich allein, ohne Kalkzusatz, jedoch langsamer als mit demselben.

Diese Steine sind rücksichtlich ihrer Permeabilität nicht vergleichbar mit den verglasten Hochofenschlackensteinen, von welchen v. Pettenkofer in seiner vorher erwähnten Schrift mit vollem Rechte sagt:[1] „Die Schlacken sind nicht dem Ziegelsteine oder dem Mörtel in ihrem Verhalten zum Wasser vergleichbar, welcher wie ein Schwamm Wasser ansaugt; die Schlacken sind ein blasiges Glas, auf dem das Wasser sich niederschlägt wie auf dem Glas der Fensterscheiben.“ — Es sind die von mir untersuchten Osnabrücker Schlackensteine im Gegentheile hochgradig permeabel für Wasser und Luft, abgesehen davon, dass ihre Druckfestigkeit eine hohe ist; wesshalb sie wohl der besten Empfehlung würdig sind. — Zur Bestätigung letzterer Thatsache gebe ich hier die Resultate der an der Berliner Gewerbeakademie von Dr. Böhme gemachten Festigkeitsprüfungen[2]:

| Steingattungen | zeigte Risse bei K° per □cmtr. | wurde zerstört bei K° per □cmtr. |
|---|---|---|
| Schlackenstein 1871 | 91.00 | 104.60 |
| * „ 1872 | 79.80 | 91.65 |
| „ 1873 | 92.40 | 110.50 |
| * Handpressstein 1872 | 31.00 | 32.10 |
| * Schwemmstein vom Rhein | 18.60 | 19.70 |
| Ziegel bleich, Osnabrück | 67.89 | 87.96 |
| * Ziegel hartgebrannt Osnabrück | 89.04 | 107.28 |

Die mit * bezeichneten Steingattungen habe ich nicht zu meinen Untersuchungen gezogen.

1) Beziehungen der Luft zu Kleidung, Wohnung und Beheizung. Braunschweig 1873.

2) Die Resultate das Mittel von je 10 Steinen.

Um das völlig trockene Material auf Permeabilität zu prüfen, habe ich ein Verfahren verwendet, das darauf beruht, die Luft vor dem Material zu comprimiren, und zwar benützte ich bei jedem einzelnen Versuchsstücke behufs Bestimmung der im Weiteren zu erörternden Permeabilitätsconstanten den gleichen Druck. — Meine Versuchsvorrichtung war folgende:[1]) In dem Gasometer *G* konnte die durch den Hahn *h'* eingesogene Luft comprimirt werden; die mit einem Hahne *h* versehene, für den Ausfluss der Luft bestimmte Röhre *r* wurde durch einen Kautschukschlauch mit der Gasuhr *g* in Verbindung gesetzt. Von dieser ging eine Schlauchverbindung aus, die sich bei *a* verzweigte, und theils nach dem Wassermanometer *M*, theils nach dem Schwefelsäurekolben *s*, und durch diesen zu dem Untersuchungsmateriale *m* hinführte. — Dieses grösstentheils parallelopipedische Material[2]), das 3 Cmtr. dick, und dessen quadratischer Querschnitt 25 □ cmtr. war, wurde an den schmalen Flächen mit einer luftdichten Schicht überzogen. An eine der freien Flächen wurde ein mit Röhrenansatz versehener Metalltrichter *t* aufgesetzt, und dann am Rande mit der luftdichten Schichte zusammengekittet. — Der Vorgang während eines Versuches war folgender:

Nachdem durch den Hahn *h'* der Gasometer gefüllt war, öffnete ich unter genauer Beobachtung der Zeit des nunmehr beginnenden Versuches den Hahn *h*, so dass die Luft durch die Gasuhr zu dem Wasser-Manometer und gleichzeitig durch den Schwefelsäurekolben zu dem beschriebenermassen zugerichteten Beobachtungsmateriale gelangen konnte; der Grad der Luftcompression konnte also am Manometer abgelesen werden. Die sowohl aus dem Gasometer als aus der Gasuhr feucht austretende Luft wurde in dem Schwefelsäurekolben getrocknet, um dem zu durchdringenden Baumateriale keine Feuchtigkeit zuzuführen, und dadurch etwa dessen Permeabilität zu verringern. — Die

---

1) Siehe Tafel II. Fig. 1a.

2) Nur Luftmörtel, Cement, Gyps und Beton goss ich als Cylinder von der gleichen Dicke (3 cbmtr.) und, einer zufällig vorgefundenen Gussform halber, von 10.17 □ cmtr. Fläche. — Es lässt Flächenverschiedenheit die Vergleichung mit den anderen Materialien, resp. Umrechnung auf gleiche Flächen zu, indem die durch poröse Scheidewände gehende Luftmenge den Querschnitten, bei gleicher Dicke, proportional ist.

Quantität der durch den Stein gegangenen Luft wurde an der Gasuhr abgelesen.

Es war z. B. vor einem Versuche (mit oberbayerischem Grünsandsteine) der Stand der Gasuhr 2.964; der Versuch begann um 3 Uhr 28 Minuten, und endete um 4 Uhr zu welcher Zeit der Stand der Gasuhr 3.215 war. — Da, nach vorausgegangener Aichung, jeder Umdrehung der Gasuhr 2.5 Ltr. durchgegange Luft entsprachen, so waren durch das betreffende Material in 32 Minuten

$$0.251 \,.\, 2.5 = 0.6275 \text{ Ltr.}$$

d. h. in der Minute 0.0196 Ltr. Luft bei der gegebenen Oberfläche durchgedrungen, oder:

$$\frac{0.0196 \,.\, 10000}{25} = 7.8 \text{ Ltr.}$$

per □mtr. und Minute. —

---

Vorerst habe ich untersucht, welchen Einfluss Druckveränderungen auf Vermehrung oder Verminderung der Luftmenge ausüben, welche durch eine und dieselbe poröse Scheidewand geht.

Zu diesem Behufe schaltete ich zwischen der Gasuhr und dem Beobachtungsmateriale verschiedene Widerstände, grössere oder kleinere Chlorcalciumröhren ein, und konnte mit obiger Beobachtungsvorrichtung Luftdruck und durchgegangene Luftquantität ablesen. Ich verwendete dabei den sehr porösen Kalktuffstein, bei dem selbst kleine Druckdifferenzen durch bedeutende Verschiedenheit der durchgegangenen Luftmenge sich deutlich bemerkbar machten: Ich fand[1]):

| Nr. | Mmtr. Höhendifferenz am Wassermanometer | $K^0$ Druckdiff. auf 1 □cmtr. des Materials | Ltr. durchgegangener Luft per □mtr. und Minute | | Unterschied der 2 letzten Columnen. |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | gefunden | aus Nr. 1 berechnet | |
| 1 | 34 | 0.0030 | 181.4 | 181.4 | 0 |
| 2 | 44 | 0.0039 | 255.3 | 235.8 | — 19.5 |
| 3 | 52 | 0.0049 | 371.9 | 296.2 | — 75.7 |
| 4 | 72 | 0.0069 | 414.7 | 417.2 | + 2.5 |
| 5 | 110 | 0.0108 | 478.8 | 653.0 | +174.2 |

(Die Zahlen dieser Tabelle sind das arithm. Mittel aus je 10 gut übereinstimmenden Beobachtungen.

1) Siehe Tafel II. Fig. 2.

Es bestätigte sich damit das Gesetz: Die unter Druck durch eine poröse Scheidewand fliessende Gasmenge ist nahezu proportional der Druckdifferenz auf der einen und der anderen Seite der porösen Scheidewand.

Mit derselben Methode beobachtete ich hierauf, in welchem Grade die Permeabilität eines bestimmten Materiales abnimmt bei zunehmender Dicke des Versuchsstückes.

Diese Untersuchungen führte ich bei Gyps dadurch aus, dass ich einen Cylinder von 162 Mmtr. Mantelhöhe allmählich immer mehr verkürzte und so Stücke von 162, 81, 40, 5 und 20 Mmtr. zur Beobachtung benützte; bei Luftmörtel wurden verschiedene Stücke von verschiedener Dicke verwendet. — Ich fand bei Gyps[1])

| Nr. | Dicke des Materiales in Mmtr. | * Ltr. durchg. Luft per □mtr. und Minute | | Fehler | Beobachtungszeit in Stunden |
|---|---|---|---|---|---|
| | | gefunden | aus den Mittelwerthen berechnet | | |
| 1 | 162 | 5.40 | 5.38 | — 0.02 | 192 |
| 2 | 81 | 11.59 | 10.76 | — 0.83 | 100 |
| 3 | 40.5 | 21.29 | 21.52 | + 0.23 | 48 |
| 4 | 20 | 40.10 | 43.04 | + 2.96 | 96 |

*) Auf gleichen Druck reducirt.

Bei Luftmörtel[2])

| Nr. | Dicke des Materiales in Mmtr. | * Ltr. durchg. Luft per □mtr. und Minute | | Fehler | Zahl der angestellten Versuche |
|---|---|---|---|---|---|
| | | gefunden | aus den Mittelwerthen berechnet | | |
| 1 | ** 5 | 569.0 | 457.8 | — 111.2 | 16 |
| 2 | 10 | 239.9 | 228.9 | — 11.0 | 24 |
| 3 | 15 | 168.1 | 152.6 | — 15.5 | 10 |
| 4 | 30 | 54.5 | 76.3 | + 21.8 | 24 |
| 5 | 60 | 34 2 | 38.1 | + 3.9 | 6 |
| 6 | 90 | 25.2 | 25.4 | + 0.2 | 6 |

** Material von solch geringer Dicke ist wegen seiner Rissigkeit zur Beobachtung unzuverlässig.

Man ersieht aus diesen beiden Tabellen die Bestätigung des Gesetzes: Die unter constantem Drucke durch homogenes poröses Material fliessende Luftmenge ist der Dicke des Versuchsstückes umgekehrt proportional.

Verschieden dichtes Material verhindert natürlich den Luftdurchgang in verschiedenem Grade. — Es muss die durchgehende

1) Tafel II. Fig. 3a.

2) Tafel II. Fig. 3b.

Luftmenge auch eine Funktion einer von der Natur des porösen Materiales abhängigen Permeabilitätsconstanten sein. Die einzelnen Versuche der nachfolgenden Beobachtungsreihe ergaben, dass die Luftmenge dieser Constanten gerade proportional ist.

Es ist demnach

$$Q = c \frac{(p_1 - p_0)\, q}{d} \text{ oder } c = \frac{d\, Q}{q\,(p_1 - p_0)},$$

wenn man unter $Q$ die in Litern ausgedrückte Luftmenge versteht, welche in 1 Stunde bei der Druckdifferenz $(p_1 - p_0)$ $K^0$ per □cmtr. (innerhalb und ausserhalb des Materiales) das *d*. mtr. dicke Material, dessen Querschnitt $q$□$^2$ cmtr. beträgt, durchdringt; — $c$ ist dabei die dem betreffenden Materiale zugehörige Permeabilitätsconstante, welche in obiger Gleichung die einzige Unbekannte ist, da man bei Anwendung der oben aufgeführten Versuchsvorrichtung $Q$, $q$ und $d$ direkt ablesen, $(p_1 - p_0)$ aus dem Stande des Manometers berechnen kann. Die in der nachfolgenden Tabelle für $Q$ angegebenen Zahlen sind das Mittel aus durchschnittlich je 12 Versuchsstücken. — $d$ war bei allen hier verwendeten Stücken gleich gross, ebenso $(p_1 - p_0)$; auf die gleiche Fläche $q = 1$□mtr. ist reducirt worden.

| Nr. | Material | $K^0$ $p_1 - p_0$ | d | Q. Ltr. | c |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Beton . . . . . . . . . . | Die Druckdifferenz betrug bei allen Versuchen 0.0108 $K^0$ auf 1□cmtr. | Die Dicke aller Versuchsstücke betrug 30 Mmtr. | 930 | $0.258_{33}$ |
| 2 | *Eichenholz über Hirn . . . | | | 24 | $0.006_{66}$ |
| 3 | *Fichtenholz über Hirn . . . | | | 3636 | 1.010 |
| 4 | Grünsandstein, oberbayerischer | | | 468 | 0.130 |
| 5 | Grünsandstein, Schweizer . . | | | 426 | $0.118_{33}$ |
| 6 | Gyps, gegossen . . . . . . | | | 146 | $0.040_{5}$ |
| 7 | Kalktuffstein . . . . . . . | | | 28728 | 7.980 |
| 8 | Klinker, glasirt . . . . . . | | | 0 | 0 |
| 9 | Klinker, unglasirt . . . . . | | | 522 | 0.145 |
| 10 | Luftmörtel . . . . . . . | | | 3264 | $0.906_{66}$ |
| 11 | Portlandcement . . . . . . | | | 492 | $0.136_{66}$ |
| 12 | Schlackenstein, Osnabrück, 1871 | | | 6072 | 1.687 |
| 13 | Schlackenstein, Osnabrück, 1871 | | | 6306 | $1.751_{66}$ |
| 14 | Schlackenstein, Osnabrück, 1873 | | | 6804 | 1.890 |
| 15 | Schlackenstein, Haardt, 1873 . | | | 27348 | $7.596_{66}$ |
| 16 | Schlackenstein, Englischer . . | | | 9480 | $2.633_{33}$ |
| 17 | Ziegel, bleich, Osnabrück . . | | | 1398 | $0.383_{33}$ |
| 18 | Ziegel, schw. gebr. Hndf. Münch. | | | 312 | $0.086_{66}$ |
| 19 | Ziegel, stark gebr, Handf. Münch. | | | 732 | $0.203_{33}$ |
| 20 | Ziegel, Maschinenfabrik. Münch. | | | 474 | $0.131_{66}$ |

* Die mit den zwei Holzarten gemachten Beobachtungen gebe ich nur mit Vorbehalt, da Holz bekanntlich nicht vollständig ausgetrocknet werden kann.

Hieraus ergiebt sich als Mittelwerth für $c$ bei den

| | |
|---|---|
| Grünsandsteinarten | $0.124_{16}$ |
| Osnabrücker Schlackensteinen | $1.776_{22}$ |
| 4 Ziegelarten | $0.201_{25}$ |

Wie aus dieser Tabelle zu ersehen ist, sind die verschiedenen Materialien sehr verschieden in Bezug auf ihre Permeabilität. — Ganz impermeabel scheint der zu Sielen verwendete glasirte Klinker zu sein; jedoch nur, so lange er eben die Glasur besitzt; wird er derselben beraubt, so erhält er eine Permeabilität, die der des Maschinenziegels ziemlich nahe liegt. Rücksichtlich der bei Beton und Portland-Cement gegebenen Zahlen muss ich bemerken, dass ich die betreffenden Versuchsstücke nahm, wie sie vom Gusse, nachdem sie lange Zeit getrocknet worden waren, herkamen. — Luftdicht werden Cement und Beton erst dann, wenn sie längere Zeit unter Wasser sich befunden haben.

Ich fand v. Pettenkofer's Ansicht bezüglich der bedeutenden Permeabilität von Luftmörtel bestätigt, indem derselbe unter den bisher gebräuchlichen Baumaterialien die günstigste Stelle einnimmt. Noch permeabler als Mörtel sind die Osnabrücker Schlackensteine. Im höchsten Grade permeabel sind Kalktuffstein und Haardter Schlackenstein, und zwar so bedeutend, dass sich der Luftdurchgang bei der besprochenen Versuchsvorrichtung sogar beispielsweise durch Seitwärtsblasen eines Lichtes sichtbar machen lässt.

Gyps ist ein sehr dichtes Material, wesshalb Plafonds aus Stuckarbeit oder sonstiger Gypsanwurf aus hygienischen Rücksichten keineswegs empfehlenswerth erscheinen.

Zum Beschlusse der gegenwärtigen Versuchsreihe *A* habe ich noch beobachtet, welchen Einfluss die Bekleidung des Materiales, Farbenanstrich und Tapezierung, auf dessen Permeabilität ausüben. Ich verwendete hiezu die Gypscylinder, die schon, bevor sie besagter Weise überzogen wurden, zur Bestimmung der in der vorhergehenden Tabelle aufgeführten Permeabilitätsconstanten gedient hatten. Die mit den Farbstoffen behandelten Versuchsstücke waren, bevor sie

zur Beobachtung verwendet wurden, circa 6 Wochen lang an der Ausmündung einer Calorifere zum Trocknen gelegen. Die Gypscylinder (von 20 Mmtr. Dicke) ergaben, bevor sie angestrichen worden waren

für $Q$ . . . . . . . . . . . . . . = 40.10
mit gewöhnlicher Kalkfarbe bestrichen . = 29.41
mit schwach geleimter Farbe bestrichen = 19.10
mit Oelfarbe bestrichen . . . . . . . = 0.

Jeder Anstrich geschah zweimal; die angegebenen Zahlen sind das Mittel aus durchschnittlich je sechs gut übereinstimmenden Beobachtungen.

Man ersieht, dass zweimaliger Oelanstrich, wenn er zwar ganz trocken, aber noch ziemlich neu ist, die Permeabilität völlig aufhebt; älterer Oelanstrich, besonders der, welcher den wechselnden Witterungseinflüssen ausgesetzt ist, wird allmählich rissig, wie diess der Anblick älterer Hausanstriche zeigt. — Leimfarbe verringert ebenfalls die Permeabilität ziemlich bedeutend, und zwar um so mehr, je stärker der als Bindemittel verwendete Leim ist; die von mir benützte Farbe war so schwach geleimt, dass sie eben abfärbte; nichts desto weniger war die durchgehende Luftmenge bis zur Hälfte vermindert worden; die mindeste Einbusse erleidet die Durchlässigkeit durch Kalkfarbe.

Gleichdicke Versuchsstücke von gleicher Durchlässigkeit $Q$ = 40.10 wurden hierauf, so straff als thunlich, mit Tapete überzogen. Ich fand für $Q \left.\begin{matrix} = 9.02 \\ = 9.17 \end{matrix}\right\}$. im Mittel 9.09, wenn ordinäre Tapeten[1]) mit dünnem Leim; $Q \left.\begin{matrix} = 9.83 \\ = 12.74 \end{matrix}\right\}$ im Mittel 11.28, wenn Glanztapete mit dünnem Leim, $Q$ = 7.33 wenn ordinäre Tapete mit dickerem Leim aufgeklebt war.

Glanztapete ist also, gleichen Klebestoff vorausgesetzt, durchlässiger als ordinäre Tapeten, was sich wohl daraus erklären lässt, dass ordinäre Tapeten aus schlechterem Papiere hergestellt sind,

1) Es waren je 2 verschiedene Tapeten und ist wieder jede angegebene Zahl das arithm. Mittel aus je 6 Bestimmungen.

in dessen zahlreichere Poren mehr flüssiger Klebestoff eintritt, und welche er, nachdem er trocken geworden, verschliesst.

Bei den folgenden Angaben war die Tapete mit dem Klebestoff, diessmal Stärkemehlkleister mit Gyps vermischt bestrichen und dann, für sich allein getrocknet worden; nachdem diess geschehen, wurde sie ringsherum am Rande der Versuchsstücke mit Klebwachs aufgekittet.

Ich verwendete hiezu auch verschieden dickes Material. — Es betrug $Q$ bei einem

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Gypscylinder | von | 81 | Mmtr. | Dicke | ohne | Tapete | 15.15 |
| „ | „ | 81 | „ | „ | mit | „ | 7.13 |
| „ | „ | 40 | „ | „ | ohne | „ | 21.27 |
| „ | „ | 40 | „ | „ | mit | „ | 11.36 |
| „ | „ | 20 | „ | „ | ohne | „ | 43.88 |
| „ | „ | 20 | „ | „ | mit | „ | 24.47 |

Bei jeder der benützten Dicken hat die Tapezierung die Durchlässigkeit auf ungefähr die Hälfte vermindert.

Es scheint also bei der Durchlässigkeit von tapezierten Wänden nicht wie Schürmann meint, auf das mehr oder minder straffe Aufspannen der Tapeten anzukommen; denn bei diesen letzten Versuchen, bei denen die Tapete sicher nicht fest auflag, ist die Durchlässigkeit weitaus am wenigsten vermindert worden; vielmehr ist hiebei die Art des zum Aufziehen verwendeten Klebestoffes von wesentlichstem Belange. Unter Zusammenfassung der letzteren Resultate lässt sich daher die Behauptung aussprechen: Jede Mauerbekleidung verringert die Durchlässigkeit ziemlich bedeutend, und zwar in der folgenden nach abnehmender Permeabilität geordneten Reihe:

1) Kalkanstrich; 2) Anstrich mit Leimfarbe; 3) Glanztapete; 4) ordinäre Tapete, welche beide die Durchlässigkeit um so mehr verringern, je dichter der Klebestoff ist, mit dem sie befestigt werden; 5) Oelfarbenanstrich, welcher, wenigstens in neuem Zustande, die Permeabilität völlig aufhebt. —

B.

Rücksichtlich des Verhaltens der Baumaterialien gegen Wasser bemerkte v. Pettenkofer[1]), dass die Einwirkung der Benetzung poröser Baumaterialien mit Wasser bezüglich der Verminderung der Permeabilität eine sehr beträchtliche ist, da diese in demselben Maasse, in dem ihre Poren sich mit Wasser füllen, für Luft undurchlässig werden.

Uebereinstimmend mit v. Pettenkofer fand Märker[2]) die Ventilation durch Backsteinmauern an einem Regentage 1.68 Kubikmtr. per □mtr. und Minute; an dem darauffolgenden trockenen Tage dagegen 2.83 Kubikmtr. Luftwechsel. — Schürmann[3]) machte auch bezüglich dieses Punktes ein paar Beobachtungen, aus welchen hervorgeht, dass Nässe die Durchlässigkeit um so mehr verringert, je feinkörniger das Material ist, und dass die Erlangung der ursprünglichen Durchlässigkeit nach der Befeuchtung um so rascher eintritt, je grobkörniger das Material ist.[4])

---

Da sich wohl kein rechtes Maass für den Grad theilweiser Befeuchtung finden lässt, so habe ich die zu untersuchenden Materialien sämmtlich achtundvierzig Stunden unter Wasser aufbewahrt, und dann dieselbe Untersuchungsvorrichtung wie bei A benützt. — Auch hier habe ich stets wieder den gleichen Druck verwendet, nämlich, wie oben, 0.0108 K⁰. Druckdifferenz auf 1□cmtr.

Zu den einzelnen Versuchen habe ich immer nur je ein Versuchsstück verwendet; ich gebe desshalb in der 1. Columne nachfolgender Tabelle die per □metr. und Minute durch das verwendete einzelne Versuchsstück im trockenen Zustande gehende Luftmenge; in der 2. das Gleiche im völlig durchfeuchteten Zustande, um Vergleichung zuzulassen. In der 3. Columne endlich einen Quo-

---

1) Beziehungen der Luft zu Kleidung, Wohnung u. Boden. Braunschweig 1873.

2) Untersuchungen über natürliche und künstliche Ventilation in Stallgebäuden. Göttingen 1871.

3) Jahresbericht der chemischen Centralstelle für öffentliche Gesundheitspflege in Dresden. III. Jahrgang.

4) Beide Punkte stimmen mit meinen Beobachtungen überein.

tienten, der angibt, den wievielten Theil der Luftmenge ein Körper noch hindurch lässt, wenn er auf besagte Weise durchfeuchtet wurde.

| Nr. | Material | Ltr. durchgegangener Luft per □mtr. und Minute | | Bruchtheil der in durchfeuchtetem Zustande durchgegangenen Luft. |
|---|---|---|---|---|
| | | trocken | feucht | |
| 1 | Beton . . . . . . . . . . . | 15.5 | 0 | 0 |
| 2 | Grünsandstein, oberbayerischer . | 7.8 | 1.4 | 0.179 |
| 3 | Grünsandstein, Schweizer . . . | 7.1 | 2.1 | 0.295 |
| 4 | Kalktuffstein . . . . . . . . . | 478.8 | 233.2 | 0.487 |
| 5 | Luftmörtel . . . . . . . . . | 54.4 | 3.9 | 0.071 |
| 6 | Portland-Cement . . . . . . | 8.2 | 0 | 0 |
| 7 | Schlackenstein, Osnabrück 1871 . | 93.0 | 15.8 | 0.169 |
| 8 | Schlackenstein, Osnabrück 1871 . | 105.0 | 15.4 | 0.147 |
| 9 | Schlackenstein, Osnabrück 1873 . | 113.4 | 10.2 | 0.090 |
| 10 | Schlackenstein, Haardt 1873 . . | 455.8 | 41.0 | 0.089 |
| 11 | Schlackenstein, Englischer . . . | 158.0 | 1.1 | 0.007 |
| 12 | Ziegel, bleich, Osnabrück . . . | 23.3 | 5.1 | 0.218 |
| 13* | Ziegel, schw. gebr., Hndfbr. Münch. | 19.3 | 7.8 | 0.404 |
| 14 | Ziegel, hart gebr., Handfabr. Münch. | 9.6 | 1.5 | 0.156 |
| 15 | Ziegel, Maschinenfabr. München . | 7.9 | 1.7 | 0.215 |

* Hatte eine durch den ganzen Stein gehende Pore.

Die verschiedenen Baumaterialien werden, wie ersichtlich, durch totale Duchfeuchtung dem Luftdurchgange in verschiedenem Maasse verschlossen.

Die Permeabilität erleidet bei Durchfeuchtung um so weniger Einbusse, je grösser die Poren des Materiales sind. So hat z. B. der äusserst grossporige Kalktuffstein nur ungefähr die Hälfte seiner Durchlässigkeit verloren, während der sehr feinporige, englische Schlackenstein $^{993}/_{1000}$ seiner im trockenen Zustande innegehabten Permeabilität einbüsste.

Bedeutenden Verlust an Permeabilität erleidet durch Befeuchtung auch der Luftmörtel. Die Ziegelarten, Osnabrücker und Haardter Schlackensteine, sowie die Grünsandsteine stellen sich in dieser Beziehung ziemlich gleichartig. Holz lässt sich im feuchten Zustande nicht luftdicht verkitten, wesshalb ich bei dieser Versuchsreihe Eichen- und Buchenholz nich mit hereinziehen konnte.

Bei Klinker war diese Untersuchung unnöthig, da er schon im trockenen Zustande undurchlässig ist.

Beton und Cement waren, wie bereits erwähnt, durch das längere Liegen unter Wasser bleibend undurchlässig geworden.

---

## C.

Um die Permeabilität trockener Baumaterialien für Leuchtgas zu bestimmen, hatte ich mir folgenden Apparat (Taf. II. Fig. 1b und 1c) zu gerichtet: Von der Leuchtgasleitung *G*, die durch den Hahn *h* geöffnet werden konnte, stellte ich eine Rohrverbindung *L* zu der Flasche *Fl* her, welche, wie aus Fig. *1c.* zu ersehen ist, einen dreifach durchbohrten Pfropfen hatte. — Durch die erste Bohrung führte die Röhre *L* zu *G* hin; durch die zweite Bohrung eine *u*förmige Röhre $L_1$ zu dem Wassermanometer *M*, und durch die dritte die *s*förmig gebogene Röhre $L_2$ zu dem wie bei *A* zugerichteten Materiale *m*.

Ich öffnete zur Beobachtung den Hahn *h*, und liess das Leuchtgas unter dem von der Gasfabrik gegebenen Drucke durch den Apparat allein, ohne vorgestecktes Beobachtungsmaterial circa fünf Minuten durchstreichen, so dass ich überzeugt sein konnte, es sei nunmehr die Flasche mit unvermischtem Leuchtgase gefüllt. Es ist dabei zu bemerken, dass ich zu dieser Reihe von Versuchen stets eine und dieselbe Tageszeit wählte, um den gleichen Gasdruck zu haben. Derselbe ergab bei all' den angestellten Versuchen 22 Mm. Höhendifferenz am Manometer, wenn der Apparat bei *a* luftdicht, durch einen Quetschhahn, verschlossen war. Hatte das Durchströmen von Leuchtgas die besagte Zeit angedauert, so steckte ich das Beobachtungsmaterial vor, und nun begann die eigentliche Beobachtung.

Ich schloss mit einem bestimmten Schlage der Sekundenuhr *u* den Hahn *h*, und beobachtete durch ein Fernrohr *F* das allmäliche Sinken des Manometers bis zum Gleichgewichtsstande unter genauer Berücksichtigung der vom Schliessen des Hahns bis zur Erreichung des Gleichgewichtsstandes verflossenen Zeit; ich gebe dieselbe in der nachfolgenden Tabelle als Diffusionszeit.

Da bei allen Materialien das durchfliessende Gas und deren

Druck — sowohl mechanischer als Diffusionsdruck — gleich waren, so muss die Permeabilitätsconstante des Materiales dieser Diffusionszeit umgekehrt proportional sein.

Thatsächlich ergab diese Beobachtungsreihe ähnliche Resultate, wie die unter A angegebenen, wobei zu berücksichtigen ist, dass hier die verschiedene Temperatur des Leuchtgases und der atmosphärischen Luft eine nicht unerhebliche Fehlerquelle bilden dürfte.

Auch hier sind die Resultate das arithmetische Mittel aus je 6 bis 7 gut übereinstimmenden Beobachtungen.

| Nr. | Material | Diffusionszeit in Sekunden |
|---|---|---|
| 1 | Beton . . . . . . . . . . . . . | 41 |
| 2 | Eichenholz über Hirn . . . . . . | 415 |
| 3 | Fichtenholz über Hirn . . . . . . | 10 |
| 4 | Grünsandstein, oberbayerischer . . . | 104 |
| 5 | Grünsandstein, Schweizer . . . . . | 100 |
| 6 | Kalktuffstein . . . . . . . . . | 1 |
| 7 | Klinker, glasirt . . . . . . . . | undurchlässig |
| 8 | Klinker, unglasirt . . . . . . . | 595 |
| 9 | Luftmörtel . . . . . . . . . . | 29 |
| 10 | Portland Cement . . . . . . . . | 566 |
| 11 | Schlackenstein, Osnabrück 1871 . . | 38 |
| 12 | Schlackenstein, Osnabrück 1871 . . | 21 |
| 13 | Schlackenstein, Osnabrück 1873 . . | 8 |
| 14 | Schlackenstein, Haardt 1873 . . . . | 8 |
| 15 | Schlackenstein, Englischer . . . . | 11 |
| 16 | Ziegel, bleich, Osnabrück . . . . . | 34 |
| 17 | Ziegel, schwach gebr., Handfabr. Münch. | 77 |
| 18 | Ziegel, stark gebr., Handfabr. München | 66 |
| 19 | Ziegel, Maschinenfabr. München . . | 68 |

Zur leichteren Vergleichung der mit den trockenen Materialien angestellten Beobachtungsreihen gebe ich hier eine Zusammenstellung der Resultate von A und C, beide Reihen nach abnehmender Permeabilität geordnet:

| Nr. | A | C |
|---|---|---|
| 1 | Kalktuffstein | Kalktuffstein |
| 2 | Schlackenstein, Haardt 1873 | Schlackenstein, Haardt 1873 |
| 3 | Schlackenstein, Englischer | Schlackenstein, Osnabrück 1873 |
| 4 | Schlackenstein, Osnabrück 1873 | Fichtenholz über Hirn |
| 5 | Schlackenstein, Osnabrück 1871 | Schlackenstein, Englischer |
| 6 | Schlackenstein, Osnabrück 1871 | Schlackenstein, Osnabrück 1871 |
| 7 | Fichtenholz über Hirn | Luftmörtel |

| Nr. | A | C |
|---|---|---|
| 8 | Luftmörtel | Ziegel, bleich, Osnabrück |
| 9 | Ziegel, bleich, Osnabrück | Schlackenstein, Osnabrück 1871 |
| 10 | Beton | Beton |
| 11 | Ziegel, stark gebr., Handfabr. München | Ziegel, stark gebr., Handfabr. München |
| 12 | Klinker unglasirt | Ziegel, Maschinenfabrikat München |
| 13 | Portland-Cement | Ziegel, schwach gebr., Handfabr. Münch. |
| 14 | Ziegel, Maschinenfabrikat München | Grünsandstein, Schweizer |
| 15 | Grünsandstein, oberbayerischer | Grünsandstein, oberbayerischer |
| 16 | Grünsandstein, Schweizer | Eichenholz über Hirn |
| 17 | Ziegel, schwach gebr., Handfabr. Münch. | Portland-Cement |
| 18 | Eichenholz über Hirn | Klinker unglasirt |
| 19 | Klinker glasirt | Klinker glasirt |

Wie bereits erwähnt, sind diese beide Reihen einander ziemlich ähnlich.

Die beiden untersuchten Holzgattungen sind in den vier Wochen, welche zwischen den beiden Versuchsreihen lagen, trockener, und also auch natürlich permeabler geworden.

Auch hier zeigte sich der glasirte Klinker völlig undurchlässig. — Haardter Schlackenstein und Kalktuffstein haben auch diessmal die grösste Permeabilität gezeigt; und nur einzelne Materialien haben ihre Reihenfolge vertauscht.

Im Allgemeinen jedoch ist diese Beobachtungsmethode minder genau als die bei A verwendete, da hier, wie gesagt, die Temperaturdifferenz des Leuchtgases und der atmosphärischen Luft eine Rolle mitspielte.

## D.

Wie schon unter B erwähnt, hat Märker[1]) die Ventilation durch eine Backsteinmauer an einem Regentage 1.68 Kubikmtr., an dem darauffolgenden trocknen Tage schon 2.83 Kubikmtr. gefunden, und aus diesem Umstande einen Schluss darauf gezogen, dass Backstein die aufgenommene Feuchtigkeit schnell wieder abgäbe, und so in kurzer Zeit seine ursprüngliche Ventilation wieder erlange.

1) Untersuchungen über natürliche und künstliche Ventilation in Stallgebäuden. Göttingen 1871.

Dem entgegen sagt Pappenheim[1]); „Die dauernde Feuchtigkeit mancher Wohnungen liegt lediglich in der Natur des Baumateriales begründet. Manches Material wird kaum in der trockensten und wärmsten Zeit des Jahres ganz trocken.[2]) Es gehören in diese Kategorie manche Arten poröser natürlicher Steine, Sandsteine besonders, welche Wasser in sich auf- und absteigen lassen, Backsteine von derselben Beschaffenheit, hygroskopisches Material, und lockere Erdarten, die ohne weitere Bekleidung mit Schiefer und dergleichen, zur Herstellung von Wänden verwendet werden.“ Schürmann[3]) sagt rücksichtlich dieser Angelegenheit, dass die Erlangung der ursprünglichen Durchlässigkeit nach der Befeuchtung um so rascher eintritt, je grobkörniger das Material ist.

---

Ich habe das Verhalten von durchfeuchteten Materialien bezüglich deren Wiederaufnahme ihrer Permeabilität dadurch untersucht, dass ich die Beobachtungen der Versuchsreihe B fortsetzte, indem ich anschliessend an den jedesmaligen ersten Versuch, das nach demselben noch feuchte Material längere Zeit hindurch dem von der Gasuhr kommenden, in dem Schwefelsäurekolben getrockneten, constanten Luftstrome aussetzte, und von Zeit zu Zeit die durchgehende Luftmenge bestimmte.

Die erhaltenen Resultate habe ich in Diagrammen niedergelegt, deren Abscissen nach dem Verhältnisse der Zeit — die Minute als Millimeter, — deren Ordinaten nach dem Verhältnisse der durchgegangenen Luft aufgetragen sind.[4])

Bei den feinkörnigen Materialien: „Luftmörtel, englischer Schlackenstein, und Ziegelarten“[5]) ergaben sich sehr sanft und

---

1) Pappenheim, Sanitätspolizei.

2) Glässgen „Ueber den Wassergehalt der Wände und dessen quantitative Bestimmung“, Zeitschrift für Biologie, München 1874, fand beispielsweise im Mörtel des seit vielen Jahren erbauten physiologischen Institutes in München 0.515 Gewichtsprozent freies Wasser.

3) Jahresbericht der ehem. Centralstelle für öffentliche Gesundheitspflege in Dresden. III. Jahrgang.

4) Siehe Taf. III. Fig. 4a bis 4n.

5) Mit Ausnahme des schwach gebrannten Handziegels, der, wie gesagt, einen durchgehenden Luftkanal hatte.

continuirlich aufsteigende Kurven, während bei den grobkörnigen Materialien die Wiederaufnahme der ursprünglichen Permeabilität sprungweise geschah.

Ich mache mir von dieser Erscheinung folgende Vorstellung: Das in den Stein eingedrungene und nach äusserlichem Abtrocknen zurückgebliebene Wasser hält sich in Blasenform in den einzelnen Poren auf und versperrt der auf der einen Seite des Materiales drückenden Luft theilweise den Durchgang.

Wenn nun die durchgegangene Luftmenge eine gewisse Quantität dieses capillar zurückgehaltenen Wassers in Dunstform mit fortgeführt hat, kann die eine Pore absperrende Blasenwand dem Luftdrucke nicht mehr genügenden Widerstand entgegensetzen, zerspringt und lässt so eine plötzliche Vermehrung des Luftdurchganges zu.

Um die verschiedenen Materialien bezüglich der Wiederaufnahme ihrer Permeabilität unter einander vergleichen zu können, habe ich sie nach dem Verhältnisse der Permeabilitätszunahme zur Beobachtungszeit in nachfolgender abnehmender Reihe geordnet:

| Nr. | Material | 1. Permeabilitätszunahme zwischen dem ersten und letzten Versuche in Ltr. | 2. Zeit zwischen dem ersten und letzten Versuche in Minuten | 3. Verhältniss der Permeabilitätszunahme zur Zeit zwischen dem ersten und letzt. Versuche Col. 1 : Col. 2 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Schlackenstein, Haardt 1873 . . | 361.3 | 65 | 5.5584 |
| 2 | Kalktuffstein . . . . . . . | 164.0 | 80 | 2.0500 |
| 3 | Schlackenstein, Osnabrück 1873 . | 29.7 | 60 | 0.4950 |
| 4 | Ziegel, schw. gebr., Handfabr. Münch. | 10.6 | 73 | 0.1452 |
| 5 | Schlackenstein, Osnabrück 1871 . | 31.9 | 288 | 0.1442 |
| 6 | Schlackenstein, Osnabrück 1871 . | 14.3 | 136 | 0.1051 |
| 7 | Schlackenstein, englischer . . . | 25.7 | 329 | 0.0781 |
| 8 | Ziegel, bleich, Osnabrück . . . | 3.4 | 110 | 0.0309 |
| 9 | Ziegel stark gebr., Handfabr. Münch. | 0.5 | 70 | 0.0071 |
| 10 | Grünsandstein, oberbayerischer . | 1.1 | 168 | 0.0065 |
| 11 | Ziegel, Maschinenfabr. München | 0.4 | 70 | 0.0059 |
| 12 | Luftmörtel . . . . . . . . | 0.6 | 107 | 0.0056 |
| 13 | Grünsandstein, Schweizer . . . | 0.3 | 59 | 0.0051 |

Einen weiteren Versuch habe ich mit Luftmörtel angestellt, nachdem ich ihn fünf Tage hindurch im Zimmer in einer Stellung

hatte liegen lassen, in welcher die Luft seine beiden freien Kreisflächen bespülen konnte.

Nach dieser Zeit liess er 50.1 Ltr. Luft per □ Mtr. und Minute hindurch, während er vorher in völlig trockenem Zustande 54.5 Ltr. durchgelassen hatte; er war also in diesen fünf Tagen noch immer nicht völlig trocken geworden.

Es nimmt somit das Trocknen der feuchtgewordenen Mörtelbänder in Mauern geraume Zeit in Anspruch.

Aus obiger Tabelle ist ersichtlich, dass poröse Baumaterialien das Wasser, welches sie aufgenommen haben, desto rascher abgeben, je grobkörniger sie sind; resp. je bedeutender die Grösse ihrer einzelnen Poren ist.

---

### E.

Wolpert[1]) hat die Porosität verschiedener Mauersteine dadurch gemessen, dass er diese an einer der breiten Flächen wiederholt benetzte und die hiedurch erzielte Gewichtszunahme ermittelte.

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Ein sehr | poröser | Ziegel | hatte | 15 | Prozent |
| „ weniger | „ | „ | „ | 6.8 | „ |
| „ Lehmstein | | | „ | 2 | „ |
| „ Sandstein | | | „ | 0.7 | „ |

an Gewicht zugenommen, d. h. ungefähr das Doppelte an Raumprozenten.

In einer meiner früheren Arbeiten[2]) habe ich das Wasserfassungsvermögen verschiedener Baumaterialien dadurch untersucht, dass ich dieselben erst trocken und dann völlig durchfeuchtet wog. Die möglichst völlige Durchfeuchtung habe ich dadurch zu erreichen gesucht, dass ich die Steine auskochte, und dann im Wasser abkühlen liess.

---

1) Wolpert, Prinzipien der Ventilation u. Luftheizung. Braunschweig 1860.

2) C. Lang, „Ueber Wärmecapacität, lineare Ausdehnung durch Wärme, Porosität und Dichte einiger Baumaterialien", Journ. des bayr. Architekten- und Ingenieur-Vereins 1873.

Ich habe da gefunden:

| Nr. | Material und dessen Fundort | Fasste Wasser | |
|---|---|---|---|
| | | Gewichts-Prozente | Raum-Prozente |
| 1 | Dolomit, Poikam, Niederbayern | 6.50 | 14.70 |
| 2 | Granit, St. Anne, Belgien | 0.02 | 0.05 |
| 3 | Granit feink., Tännesberg, Oberpfalz | 0.23 | 0.61 |
| 4 | Granit grobk., Falkenstein, Oberpfalz | 0.17 | 0.45 |
| 5 | Grünsandstein, Lohstadt, Oberpfalz | 4.34 | 10.84 |
| 6 | Grünsandstein, oberbayerischer | 2.12 | 5.49 |
| 7 | Grünsandstein, Pettendorf, Oberpfalz | 2.12 | 5.45 |
| 8 | Kalkschiefer, Painten, Niederbayern | 0.35 | 0.93 |
| 9 | Kalkbruchstein, Keilstein bei Regensburg | 7·26 | 17.70 |
| 10 | Keupersandstein, Irlbach, Oberpfalz | 7.06 | 16.94 |
| 11 | Marmor grau, Belgien | 0.07 | 0.19 |
| 12 | Marmor, blanc bai, Carrara | 0.04 | 0.11 |
| 13 | Marmor, blanc clair, Carrara | 0.08 | 0.22 |
| 14 | Marmor, weiss, Schlanders, Tyrol | 0.22 | 0.59 |
| 15 | Serpentin, Neunburg v. W., Oberpfalz | 0.22 | 0.56 |
| 16 | Syenit, Treitlingen bei Roding, Oberpfalz | 0.50 | 1.38 |
| 17 | Uebergangsporphyr, Vohenstrauss, Oberpfalz | 1.05 | 2.75 |
| 18 | Handziegel, München | 19.13 | 45.72 |
| 19 | Maschinenziegel, München | 15.09 | 35.45 |
| 20 | Ziegel feuerfest, Koburg | 9.40 | 21.54 |
| 21 | Ziegel feuerfest, Regensburg | 12.90 | 27.98 |

Die 2 letzten Steingattungen werden vorzugsweise zum Einmauern der Gasretorten verwendet.

Mit derselben Methode hat auch Schürmann[1]) das Wasserfassungsvermögen[2]) von mehreren Baumaterialien geprüft und fand:[3])

| Material | Wasseraufnahme nach Raumprozent |
|---|---|
| Cement | 26.5 |
| Gyps | 50.9 |
| Handziegel | 17.9 |
| Maschinenziegel | 24.9 |
| Mörtel | 24.2 |
| Sandstein | 18.1 |
| Sollingkalktuff | 32.2 |

In der neuesten Zeit hat Witting[4]) in Osnabrück ähnliche, höchst umfassende Beobachtungen mit verschiedenem Baumaterial

1) Jahresbericht der chemischen Centralstelle für öffentliche Gesundheitspflege in Dresden. III. Jahrgang.

2) Er nennt diess, wie bei der unter A angegebenen Literatur erwähnt „Porosität."

3) Die angegebenen Zahlen sind das Mittel aus den von den gleichartigen Steingattungen angegebenen Resultaten.

4) Bis jetzt noch nicht veröffentlicht.

angestellt, deren Resultate nach dem Wunsche des Hrn. Beobachters in die vorliegende Abhandlung mit aufgenommen wurden. Er sandte mir die zwei beigegebenen Tabellen IV. und V.

Aus der ersten derselben entnehme ich folgende Durchschnitts-Resultate für gleichartige Steine:

| Nr. | Material | Wasseraufnahme nach Raumprozent |
|---|---|---|
| 1 | Hilssandstein . . . . . . . . . . | 11.94 |
| 2 | Kohlensandstein bei Osnabrück . . . | 1.50 |
| 3 | Kohlensandstein { Mettingen . . . / Ibbenbüren . . . / Rothenberge . . . | 8.95 |
| 4 | Kreidesandstein . . . . . . . . . | 27.68 |
| 5 | Wälderthonsandstein. . . . . . . . | 11.14 |
| 6 | Quadersandstein . . . . . . . . . | 16.73 |
| 7 | Muschelkalk. . . . . . . . . . . | 2.87 |
| 8 | Schlackenstein, Maschinenfabrik . . | 29.86 |
| 9 | Schlackenstein, Handpressfabrikat . . | 35.93 |
| 10 | Ziegelsteine . . . . . . . . . . | 21.14 |

Aus der zweiten Tabelle, welche Aufschluss über die Schnelligkeit des Wasseraufsaugens gibt, ist ersichtlich, dass im Allgemeinen die Ziegel am raschesten das Wasser durch Capillarität in sich aufziehen; ihnen folgen die Handpresssteine, in zweiter Linie die durch Maschinen hergestellten Schlackensteine und schliesslich die Sandbruchsteine.

Wälderthonsandstein machte hiervon eine Ausnahme, indem er schon nach ungefähr fünf Stunden das Wasser bis zu seiner vollen Höhe heraufgesogen hatte.

---

Ich habe endlich das Wasserfassungsvermögen der schon in den 4 vorhergehenden Beobachtungsreihen behandelten Steinsorten dadurch untersucht, dass ich dieselben erst trocken, und dann durchfeuchtet wog; indem ich sie acht Tage unter destillirtem Wasser aufbewahrt hatte. Um das Volumen der hiezu nicht regelmässig behauenen Steine zu finden, liess ich sie in ein auf einer Wagschale stehendes, mit destillirtem Wasser gefülltes Becherglas, das tarirt war, von einem Statif aus herabhängen; ich bestimmte so gleichzeitig das Gewicht (Volumen) des verdrängten Wassers und damit auch das Volumen und specifische Gewicht des eingetauchten Körpers.

Ich fand:

| Nr. | Material | Gewicht der Steine trocken Grm. | Gewicht der Steine durchfeuchtet Grm. | Volumen Kubikcmtr. | Dichte | Wasseraufnahme nach Gewichts- Prozenten | Wasseraufnahme nach Raum- Prozenten |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Beton . . . . . . . . . . . . | 82.0 | 91.3 | 48.5 | 1.88 | 11.3 | 19.1 |
| 2 | Grünsandstein, oberbayerischer . . . | 192.0 | 199.9 | 81.5 | 2.45 | 4.1 | 9.7 |
| 3 | Grünsandstein, Schweizer . . . . . | 196.0 | 202.0 | 82.0 | 2.46 | 3.0 | 7.3 |
| 4 | Kalktuffstein . . . . . . . . . . | 118.0 | 131.9 | 68.6 | 1.92 | 11.8 | 20.3 |
| 5 | Klinker, glasirt . . . . . . . . . | 147.4 | 147.4 | 73.3 | 2.01 | 0 | 0 |
| 6 | Klinker, unglasirt . . . . . . . . . | 136.0 | 140.9 | 69.9 | 2.01 | 3.6 | 6.1 |
| 7 | Luftmörtel . . . . . . . . . . | 116.0 | 133.2 | 66.1 | 2.01 | 14.8 | 26.0 |
| 8 | Portland-Cement . . . . . . . . . | 82.0 | 91.1 | 51.0 | 1.78 | 11.0 | 17.8 |
| 9 | Schlackenstein, Osnabrück 1871. . . | 154.0 | 173.1 | 84.4 | 2.05 | 12.4 | 22.6 |
| 10 | Schlackenstein, Osnabrück 1871. . . | 142.0 | 159.9 | 78.8 | 2.02 | 12.6 | 22.7 |
| 11 | Schlackenstein, Osnabrück 1873 . . | 118.0 | 136.8 | 77.3 | 1.77 | 16.0 | 24.4 |
| 12 | Schlackenstein, Haardt 1873 . . . . | 105.0 | 125.6 | 83.8 | 1.49 | 19.6 | 24.5 |
| 13 | Schlackenstein, Englischer . . . . | 113.0 | 136.3 | 78.7 | 1.73 | 20.6 | 25.8 |
| 14 | Ziegel, bleich, Osnabrück . . . . . | 145.0 | 164.5 | 79.9 | 2.06 | 12.8 | 24.4 |
| 15 | Ziegel, schwach gebr., Handfabr. Münch. | 122.0 | 146.3 | 74.1 | 1.97 | 19.1 | 32.7 |
| 16 | Ziegel, stark gebr., Handfabr. München | 126 0 | 146.9 | 73.8 | 1.99 | 16.5 | 28.3 |
| 17 | Ziegel, Maschinenfabrikat München . | 129.0 | 151.1 | 77.8 | 1.94 | 17.1 | 28.4 |

Bei Zusammenstellung der gleichartigen Steingattungen ergiebt sich als Mittel für

| Material | Col. 1. Gewichts-Prozent | Col. 2. Gewichts-Prozent | Col. 3. Raum-Prozent | Col. 4. Raum-Prozent nach Witting. |
|---|---|---|---|---|
| Die 4 ersten Schlacksteinsorten . . | 15.3 | — | 23.5 | 23.6 |
| Die 3 Münchener Ziegelsorten . . | 17.6 | 17.1 | 29.8 | — |
| Die Grünsandsteine . . . . . . | 3.5 | 2.9 | 8.5 | — |

Die unter Col. 2 stehenden Zahlen sind aus meiner oben citirten Schrift in dem Journale des bayer. Architekten- und Ingenieur-Vereins 1873 entnommen.
Die unter Col. 4 stehende Zahl ist das Mittel aus Nr. 21 und Nr. 23 der Witting'schen Tabelle IV.

Es ist hieraus zu ersehen, dass die Resultate dieser letzten Versuchsreihe sowohl mit den Daten von Witting als auch mit meinen früheren Daten sehr genau übereinstimmen; die von Wolpert angegebenen Zahlen sind mit den meinigen nicht vergleichbar, da er seine Versuchsstücke nur wiederholt benetzte.

Die von mir untersuchten Materialien lassen sich bezüglich

ihres nach Raumprozenten angegebenen Wasserfassungsvermögens in folgende abnehmende Reihe gruppiren:

| | |
|---|---|
| 1 | Handziegel, schwach gebrannt, München |
| 2 | Maschinenziegel, München |
| 3 | Handziegel, stark gebrannt, München |
| 4 | Luftmörtel |
| 5 | Schlackenstein, Englischer |
| 6 | Schlackenstein, Haardt 1873 |
| 7 | Ziegel, bleich, Osnabrück |
| 8 | Schlackenstein, Osnabrück 1873 |
| 9 | Schlackenstein, Osnabrück 1871 |
| 10 | Schlackenstein, Osnabrück 1871 |
| 11 | Kalktuffstein* |
| 12 | Beton |
| 13 | Portland-Cement |
| 14 | Grünsandstein, oberbayerischer |
| 15 | Grünsandstein, Schweizer |
| 16 | Klinker, unglasirt |
| 17 | Klinker, glasirt |

*Sehr grossporiges Material kann, da das Wasser aus den offen liegenden Gängen abläuft, nicht korrekt mit dieser Methode untersucht werden.

Klinker in glasirtem Zustande hat sich völlig wasserdicht gezeigt, was bezüglich seiner Verwendung zu Sielen natürlich von hoher Bedeutung ist.

---

## Zusammenstellung der in der gegenwärtigen Abhandlung constatirten Thatsachen.

1. Die unter Druck durch poröses Material gehende Luftmenge ist direkt proportional einer von der Natur des Materiales abhängigen Permeabilitätsconstanten, direkt proportional der Druckdifferenz auf der einen und der anderen Seite der porösen Scheidewand, umgekehrt proportional der Dicke der porösen Schichte.

2. Die verschiedenen Materialien sind sehr verschieden rücksichtlich ihrer Permeabilität. Sie ordnen sich nach abnehmender Permeabilität gruppirt in folgender Reihe:

1) Kalktuffstein,
2) Schlackenstein, Haardt 1873,
3) Schlackenstein, englischer,
4) Schlackenstein, Osnabrück 1873,
5) Schlackenstein, Osnabrück 1871,
6) Schlackenstein, Osnabrück 1871,

7) Fichtenholz über Hirn,
8) Luftmörtel,
9) Ziegel, bleich, Osnabrück,
10) Beton
11) Handziegel, stark gebrannt, München,
12) Klinker unglasirt,
13) Portland-Cement,
14) Maschinenziegel, München,
15) Grünsandstein, oberbayerischer,
16) Grünsandstein, Schweizer,
17) Handziegel, schwach gebrannt, München,
18) Eichenholz über Hirn,
19) Gyps, gegossen,
20) Klinker, glasirt.

3. Jede Mauerbekleidung vermindert die Permeabilität wesentlich, und zwar in der folgenden nach abnehmender Permeabilität geordneten Reihe:

1) Kalkanstrich,
2) Anstrich mit Leimfarbe,
3) Glanztapete,
4) ordinäre Tapete } welche beide die Durchlässigkeit um so mehr verringern, je dichter der Klebestoff ist, mit dem sie befestigt werden,
5) Oelanstrich, welcher, wenigstens im neuen Zustande die Permeabilität völlig aufhebt.

4. Die verschiedenen Baumaterialien werden durch totale Durchfeuchtung dem Luftdurchgange in verschiedenem Maasse verschlossen. Die Permeabilität erleidet um so weniger Einbusse, je grösser die Poren des Materiales sind; so büsst z. B. auch der Luftmörtel einen bedeutenden Theil seiner Durchlässigkeit bei Befeuchtung ein.

Beton und Cement werden durch längeres Liegen unter Wasser bleibend undurchlässig.

5. Poröse Baumaterialien geben das aufgenommene Wasser um so rascher ab, je bedeutender die Grösse ihrer einzelnen Poren

ist. — Das Trocknen feucht gewordener Mörtelbänder nimmt geraume Zeit in Anspruch.

6. Die durch Capillarität bedingte Wasseraufnahme geht am raschesten vor sich bei den Ziegelarten, ihnen folgen die Osnabrücker Handpresssteine, in zweiter Linie die durch Maschinen hergestellten Osnabrücker Schlackensteine und schliesslich die Sandbruchsteine.

7. Bezüglich des Wasserfassungs-Vermögens lassen sich die von mir untersuchten Materialien in der unter E. abnehmenden Reihe ordnen. — Klinker in glasirtem Zustande ist völlig wasserdicht, was rücksichtlich seiner Verwendung zu Sielen höchst wesentlich ist.

---

# Ueber Transplantation und Implantation von Haaren.

Von

**Dr. Ernst Schweninger,**

Assistent am pathologischen Institute in München.

(Mit Tafel VI., VII. und VIII.)

Die Geschichte der Transplantation reicht bis in die frühesten Zeiten zurück und ist diese als plastische Operation bei den Chirurgen längst bekannt. Aber während man früher den zu transplantirenden Theil bis zur Anheilung durch eine gefässhaltige Brücke mit dem Mutterboden in Verbindung liess, haben wir erst in der neueren Zeit eine Transplantation speziell der Haut ohne Brückenbildung kennen gelernt.

Zwar wusste man, dass vom Körper getrennte Theile, wie Fingerspitzen, Ohrläppchen, Nasenstücke, Knochensplitter, Zähne u. dgl. gelegentlich anheilen können, wenn sie nur möglichst rasch und gut wieder mit dem zugehörigen Theile in Verbindung gebracht werden. Auch finden sich bei Aelteren wie Dionis, Garengeot, Bünger, Mittheilungen, zum Theil ganz merkwürdiger Art, über gelungene Transplantationen. Ebenso hatten Hunter, Dieffenbach, Dzondi, Wiesmann u. A. Versuche über Transplantationen erwähnt, und bei Ollier[1]) und Bert[2]) finden sich bereits Studien über den histologischen Vorgang bei der Wiederanheilung nach Versuchen an Thieren. Zu einer Methode und praktischen Verwendbarkeit aber gelangte die Transplantation erst durch die Erfahrungen, welche J. L. Reverdin im Hospital Necker zu Paris gemacht hatte, und die von Guyon in der Sitzung der Société impériale de Chirurgie am 8. Dezember 1869 mitgetheilt wurden.

---

1) Ollier, Journ. de physiol. de Brown-Séquard 1859.

2) P. Bert, Recherches expérimentales de la vitalité propre des tissus animaux, Paris 1866.

Reverdin[1]) veröffentlichte bald selbst in mehreren Artikeln seine Versuche, die darin bestanden, dass er Cutis (nicht Epidermis allein, — denn an Stelle der abgeschnittenen Stücke bildeten sich Narben) von Menschen und Kaninchen auf Menschen, dessgleichen von Kaninchen, Menschen und Katzen auf Kaninchen mit gelungenem Erfolg transplantirte. Aus seinen Resultaten und mikroskopischen Untersuchungen, die er des Genauern schildert, schloss er, dass die Anheftung der Cutisstücke in erster Linie durch die Epidermis und erst in zweiter durch die bindegewebige Grundlage zu Stande komme; weiters glaubte er, dass die Epidermis eine Art von Contactwirkung ausübe, durch welche die anliegende embryonale Fläche veranlasst werde, sich in Epidermis umzuwandeln. Die französische Literatur brachte zwar, Einzelne ausgenommen, (M. See, Olivier, Th. Bryant, Fort) nur wenig über Reverdin's neues Transplantations-Verfahren. Destomehr beschäftigten sich damit die Engländer, in deren Fachjournalen bekanntlich lange Zeit hindurch die „Skin-grafting" auf der Tagesordnung stand. Pollock[2]) erzählte die ersten Fälle von gelungener Transplantation. Page[3]) und Steele[4]) studirten den physiologischen Vorgang, der hiebei stattfindet. Fiddes[5]) will durch abgeschabte und auf Granulationen übertragene Epidermis-trümmer, Behäutung erzielt haben. Macleod[6]) und Woodman[7]) benützten zu ihren Versuchen Flüssigkeit aus Vesicatorblasen, und erzielten damit schöne Erfolge. Auch aus Amerika kamen Berichte über Hautpfropfungen von Hamilton, William, Pooley. Howard,[8]) der die Frage, ob wirklich die Uebertragung der Schleimschichte der Haut das Wesentliche bei der Transplantation sei, diskutirte, will nach Muskelpfropfungen die gleichen, ja sogar bessere Resultate erzielt haben. Allein er hat dabei das inselförmige

---

1) Reverdin; La greffe épidermique, Gaz. d. Hôpit. Nr. 4, 1870. Nr. 151, 1871. Compt. rend. 1871. LXXIII. Arch. gén. 1872. XIX.

2) Pollock, Lawson. Lanc. Nov. 19. 1870.

3) Page, Med. Journ. Dec. 3. 1870 u. Med. Journ. Dec. 17. 1870 u. May 27. 1871.

4) Steele, Med. Journ. Dec. 10. 1870.

5) Fiddes, Lancet. Dec. 17. 1870.

6) Macleod, Remarks on Skin-grafting, Med. Journ. April 1. 1871.

7) J. Woodman, Notes on Transplant. Engraft of Skin. Lond. 1871.

8) Howard, Muscle-grafting. L. c.

Auftreten und die von da aus fortschreitende Benarbung nicht beobachten können. In Deutschland machte zuerst Czerny[1]) auf die schönen Erfolge des Reverdin'schen Verfahrens aufmerksam, worauf bald zahlreiche Arbeiten von Schulz, Studensky, Lindenbaum, Ranke, Hofmokl, Kohn, Netolitzky, Kappeler, Thierfelder, Thiersch, Weiss, Nehse etc. folgten.

Jacenko[2]) zeigte ebenso wie Weiss[3]), dass die Zellen des rete Malpighii bei der Transplantation auf dem neuen Boden weiter leben, was man deutlich an transplantirten Hautstücken von Negern sehe, wenn sie den Ausgangspunkt einer centralen Benarbung bilden. Eine Transplantation von Hundehaut auf den Menschen gelang ihm nicht, während sie umgekehrt von Erfolg war. Dagegen gelang es Czerny, der ebenfalls vergeblich Hunde- und Rattenhaut auf Menschen verpflanzt hatte, die Schleimhaut eines eben ausgerissenen Nasenpolypen (Flimmerepithel), sowie die eines Zäpfchens mit Erfolg zu transplantiren.

Lippen- und Brustkrebs auf Hunde übertragen, blieb resultatlos. — Ich habe Transplantationen von Haut- und Schleimhautstückchen (Nickhaut) mit gutem Erfolg theils selbst gemacht, theils auf der v. Nussbaum'schen Klinik beobachtet; aber Verpflanzung von abgeschabter Epidermis und abgeschnittenen Haarschäften war immer ohne Erfolg.

Was hier durch zahlreiche Experimente festgestellt wurde, dass lebensfähige Epidermis durch Transplantation zur Regeneration und Neubildung Veranlassung geben könne, schien durch pathologische Vorgänge, wenn auch in anderer Art, längst erwiesen. Bekanntlich hatte v. Buhl aus der Rothmund'schen Klinik eine Neubildung untersucht, die von der Iris auszugehen schien. „Die eine Hälfte war mit pigmenthaltigen Strängen (Reste der uvea) umfasst, die andere war weiss, glatt, perlglänzend. Zu äusserst fand sich eine zarte Bindegewebshülle, mit Pflasterepithel bedeckt,

1) Czerny. Med. Centr.-Bl. Nr. 56, 1870 u. Nr. 17, 1871.

2) A. Jacenko, Kurze Mittheilung über Pfropfung der Haut etc. L. c. Nr. 8, 20. Febr. 1871.

3) Weiss. Diss. Tübing. 1872.

nach innen bestand die Perle aus concentrisch geschichteten Epidermiszellen, die bald an einander gelagert, bald durch Faltung wie faseriges Gewebe sich ausnahmen; zwischen den Epidermisschüppchen waren zahlreiche Cholesterintafeln. Weder Härchen noch eine Spur von Drüsenanlage wurde bemerkt." Darnach wurde die Neubildung als Epidermidom aufgefasst, entstanden durch Trauma, und von Buhl nahm unter Anderm als am wahrscheinlichsten an, dass die ganze Bildung neu, durch Implantation von Haarwurzeln (eingeschlagener Cilien) erzeugt sei; letztere fanden guten Nährboden und wuchsen zum Balge heran. Bei einer späteren Bearbeitung der Iriscysten fand Rothmund[1]) in der Literatur, dass 4mal Epidermoidalcysten mit Cilien in der vorderen Augenkammer, darunter 3mal nach ursprünglicher Verletzung verzeichnet sind. Gestützt darauf, sprach er aus, dass die Epidermoidalcysten sicher traumatischen Ursprungs und auf Implantation von Cutis oder Haarbalgzellen zurückzuführen seien. Auch Krause[2]) meint, es kommen epidermoidale Gebilde durch Verletzung mit in die vordere Augenkammer, vielleicht auch Haarpartikelchen; indess näher liegt die Idee, dass es Zellen sind, die in den Haarwurzeln der Cilien liegen.

Nach diesen Angaben, die ich vorausschicken zu müssen glaubte, komme ich nun zu meinen Versuchen, die ich mit Implantation und Transplantation von Haaren anstellte.

Wenn man ein Haar, sei es vom Kopfe, Bart, Augenlid u. dgl. ausreisst, so gelingt es bei starkem Ziehen häufig, dass man die Wurzel mitbekömmt. Ein so ausgezogenes Haar, mikroskopisch untersucht, wie es in (Taf. VI, Fig. 1, a und b) dargestellt ist, zeigt nun in seiner oberen Parthie den Haarschaft (1), der an seiner meist ganz vorhandenen Wurzel die innere (2) und äussere (3) Wurzelscheide erkennen lässt. Die äussersten Zellen der letzteren sind oft mehr minder pigmentirt, ebenso wie die untersten Zellen des Malpighi'schen Netzes, mit dem sie ja bekanntlich gemäss ihrer

---

1) Rothmund, Zur Pathogenese der Iriscysten. Monatsbl. f. Augenheilk. IX u. X.
2) Krause. Archiv für Anat. u. Physiol. 1870.

Lage und Genese identisch sind. Die äussere Wurzelscheide ungefähr dreimal so dick als die innere, umgibt diese als eine 5—6 Reihen stärke Schicht polygonaler Zellen. Sowohl nach oben als namentlich nach unten wird sie gewöhnlich etwas dünner; an letzterer Stelle werden die Zellen mehr rundlich und gehen continuirlich in die runden Zellen der Haarzwiebel über. Die innere Wurzelscheide zeigt deutlich ihre Zusammensetzung aus kernhaltigen Zellplättchen, zwischen denen namentlich nach Essigsäurezusatz Lücken sichtbar werden. An der Wurzel bemerkt man mehr nach oben die feinfaserige Beschaffenheit der Rinde (4) des Haarschaftes, während an der eigentlichen Haarzwiebel (6) selbst die Verhältnisse wesentlich anders werden.

Indem hier der faserige Bau zurücktritt, ist dieser Theil des Haares mit anfänglich mehr länglichen (5), nach abwärts mehr rundlichen Zellen besetzt, an denen man Kerne nachweisen kann. Zuletzt umgeben den Haarknopf Zellen, die wieder vollständig mit denen des Malpighi'schen Schleimnetzes übereinstimmen, und entweder, wenigstens an der äussersten Schicht blos farblose Moleküle in ihrem Protoplasma führen, oder, namentlich bei sehr dunkelhaarigen Menschen und Thieren durch zahlreiche Pigmentkörnchen zu wahren Pigmentzellen (7) werden. Letzteres ist namentlich wieder bei dunkelhaarigen Menschen und Thieren der Fall. Durch mehrere Untersuchungen derartig mit der Wurzel ausgerissener Haare hatte ich die eben geschilderten Befunde immer wieder bestätigen können Meine Idee war nun die, zu versuchen:

1) ob eine mit solchen Haaren auf gut aussehende Granulationen vollzogene Transplantation eine Wirkung, beziehungsweise Erfolg auf die Heilung und welchen sie äusserte. Dann wollte ich

2) auch experimentell prüfen, ob in die vordere Augenkammer eingepflanzte Haare dort einheilen, eventuell zu weiterer selbstthätiger Wucherung veranlasst werden können, ob als Endresultat ein Epidermidom, eventuell eine Cyste der Iris zu Stande komme.

## I. Versuchsreihe.

Zu diesen Versuchen hatte Herr Generalstabsarzt Professor Dr. von Nussbaum mir auf seiner Abtheilung in bereitwilligster Weise das Material zur Verfügung gestellt, wofür ich an dieser Stelle noch ganz besonders danke.

Der Kürze wegen will ich hier nur die Fälle anführen, die von Erfolg begleitet waren. Beiläufig sei bemerkt, dass die anfangs wie schon früher mit Haarschäften allein, ebenso wie mit abgeschabter Epidermis angestellten Transplantationen vollständig missglückten. Dagegen hatten die mit der Haarwurzel von obiger Beschaffenheit gemachten Versuche, wenn nicht immer, so doch meist, und dann ein auffallend günstiges Resultat. Die Procedur war einfach. Die Haare wurden vom Menschen ausgerissen, die mit Wurzeln versehenen auf die Granulationen einfach aufgelegt oder in seltenen Fällen in dieselben leicht eingesteckt. Ein grosser Theil des überflüssig erscheinenden Schaftes wurde hierauf abgeschnitten, die Transplantationsstelle mit Silk bedeckt und dann ein leichter Carbolsäureverband angelegt. Nur wenn der Eiter durchschlug, ward der Verband vorsichtig entfernt und durch einen neuen ersetzt, nachdem wieder je nach Gutdünken Haare aufgepflanzt waren.

Ich komme zu den Versuchen selbst.

### 1. Versuch.

Am 19. Januar 1875 werden bei einem ziemlich abgemagerten Manne auf vollkommen frisch und roth aussehende Granulationen nach einer in der Fläche weitausgebreiteten, weniger tief greifenden Verbrennung am linken Unterschenkel 2 Cm. vom Hautrande entfernt, 6 ca. 1 Cm. lange Kopf- und Barthaare mit ihren Wurzeln in Abständen von 2—9 Mm. transplantirt.

Am 23. Morgens ist Ein Haar durch leichten Wasserstrahl nicht mehr zu entfernen, es ist adhärenter als die übrigen fünf, welche theils am Silk haften, theils durch darüberfliessendes Wasser entfernt werden. An der Stelle des festeren Haares findet sich auch eine weissliche, mit den Granulationen fest verbundene kleine Insel, 2 Mm. im Durchmesser, aus deren Mitte eben das Haar hervorsteht. Eine ebensolche narbenähnliche Stelle findet sich in einiger Ent-

fernung von der ersteren, jedoch ohne Haar. Die Granulationen sind vollkommen rein, die Benarbung vom Rande her allseitig vorgeschritten, das Geschwür entschieden kleiner geworden.

Am 26. Januar Morgens sitzt das Eine Haar noch immer fest auf, die weissliche narbenähnliche Stelle ist grösser geworden, ebenso die andere ohne Haar bestehende, beide beinahe von Kreuzergrösse. Sie sind nicht nur beide an einander näher gerückt, sondern erstere steht mit Einem Fortsatze der Vereinigung mit der vom Rande her wieder vorgeschrittenen Benarbung ziemlich nahe.

Am 29. Januar sitzt das Haar so fest, dass es selbst bei leichtem Zuge sich von seinem Boden nicht abhebt; die von hier ausgehende Benarbung hat die vom Rande herkommende erreicht und bildet nun mit dieser eine Brücke; die Vereinigung mit der 2. Narbeninsel scheint bevorzustehen. Noch an einem 3. Transplantationspunkte sieht man heute eine kleine Insel, so dass auch von diesem aus Benarbungserfolg erzielt worden ist. Die Wunde ist viel kleiner geworden; leider verlässt der Kranke das Spital und verhindert dadurch weitere Beobachtungen.

2. Versuch.

Bei einem wiederholt aufgebrochenen nicht überall ganz reinen Fussgeschwüre, 5 Cm. lang und ungefähr ebenso breit, werden mehrere frisch ausgerissene, mit ihren Wurzeln versehene Haupt- und Barthaare in die rothen Granulationen theils leicht gesteckt, theils nur aufgelegt, mit Silk bedeckt, darauf ein Carbolsäureverband gelegt. (19. Januar 1875.)

Am 26. Januar scheinen 2 Haare umgeben von kleinen Benarbungsinseln adhärent, die Wundfläche ist kleiner, die Granulationen sind reiner und üppiger, eine 3. Narbeninsel ohne Haar ist vorhanden.

Am 28. Januar sind die 2 Haare durch leichten Wasserstrahl nicht wegzuspülen, ihre Benarbungsinseln sind breiter geworden und haben sich unter einander durch einen schmalen Fortsatz bereits verbunden. Auch die 3. Insel hat sich vergrössert und ist der Berührung mit dem Rande nahe. Die ganze Geschwürsfläche hat sich wieder um ein Beträchtliches vermindert.

5. Februar. Die Narbeninseln stehen unter sich und mit dem Rande des Geschwürs in Verbindung, ihr Centrum scheint dicker, als die davon ausgehenden Strahlen; die 2 Haare sind noch adhärent vorhanden; das Geschwür ist bis auf Sechsergrösse überhäutet, so dass der Kranke bereits wieder das Spital verlässt.

3. Versuch.

Auf eine frisch und schön roth aussehende Granulation am Unterschenkel (varicöses Fussgeschwür von Thalergrösse) bei einer 36jährigen Frau werden 5 Haare mit ihren Wurzeln in der bekannten Weise transplantirt. Nach 4 Tagen noch kein Erfolg. Neuerdings werden 5 Haare aufgelegt und darauf Silk und der weitere Verband gebracht. — 5 Tage später sieht man 2 kleine weissliche Inseln, auf denen die Haare frei liegen, jedoch ohne die sie umhüllende äussere Wurzelscheide, wie die mikroskopische Untersuchung der Haare lehrt. 6 Tage nachher haben sich diese Benarbungsstellen vergrössert und sind unter sich der Verbindung nahe. Die weitere Beobachtung kann wegen Austritt der Patientin aus dem Spitale nicht gemacht werden.

4. Versuch.

Auf ein ausgebreitetes, frisch granulirendes Geschwür am Fussrücken werden am 2. Februar 1875 mehrere Haare transplantirt. Am 6. Februar scheint ein Haar, von dem auch eine Ueberhäutungsinsel sich gebildet hat, angewachsen. Es werden mehrere Haare neuerdings aufgepflanzt. — Am 10. Februar fehlt das Haar, das am 6. Februar adhärent schien, die Benarbung an der bezüglichen Stelle ist aber nicht nur noch vorhanden, sondern hat sich auch um etwas vergrössert. Von der zweiten Aufpflanzung ist kein Haar haften geblieben, dagegen sind 2 ungefähr stecknadelkopfgrosse Ueberhäutungsinseln neu aufgetreten.

Am 14. Februar haben sich die 3 Inseln vergrössert und verbreitert. Die ersterschienene ist von dem Benarbungsrande nur mehr durch eine schmale Grenze getrennt. — 18. Februar. Der Benarbungsrand hat mit der nächst liegenden Insel und diese mit den beiden anderen sich vereinigt. Die Geschwürsfläche überhaupt hat bedeutend an Umfang abgenommen. Die Kranke verlässt das Spital.

5. Versuch.

Ein thalergrosses nicht tiefgreifendes Geschwür nach Verbrennung, von Markstückgrösse, wird mit mehreren ausgerissenen Haaren belegt. Erst 7 Tage später wird der Verband gewechselt; es zeigt sich die Wundfläche benarbt, die Haare nicht mit der Narbe verbunden, heben sich leicht ab, doch fehlen ihre Wurzelscheiden. Der Einfluss der Transplantation ist hier nicht sicher zu constatiren, obwohl in der Narbe drei dickere Stellen gefunden werden.

6. Versuch.

Ein ebenfalls thalergrosses Fussgeschwür wird zu öfteren Malen mit Haarwurzeln belegt, jedoch stets ohne Erfolg; auch vom Rande her erfolgt eine nur sehr langsame, kaum bemerkbare Ueberhäutung. Die Versuche mit Haarverpflanzung werden aufgegeben, aber 9 Tage nach der letzten bei einer gelegentlichen Besichtigung der Wunde findet sich eine kleine, etwas verdickte, narbige Stelle, etwa im Centrum des Geschwürs, ohne besonders deutliche Narbenfortsätze von hier aus.

7. Versuch.

Im Verlaufe einer phlegmonösen Entzündung des rechten Vorderarms hatte sich bei einem Patienten ausgebreitete Gangrän der Haut, an manchen Stellen 2 Dritttheile der ganzen Peripherie betragend, eingestellt. Nachdem sich die Gangrän demarkirt und im Verlauf der Entzündung schöne Granulationen das ausgebreitete Geschwür bedeckt hatten, begann ich, gelegentlich eines jeden Verbandes eine Anzahl Haare, die frisch ausgezogen und mit ihrem Wurzelende versehen waren, aufzupflanzen. (21. Januar 1875.)

Am 9. Februar geschah bereits die 5. Aufpflanzung; der Erfolg der vorhergegangenen ist dadurch gekennzeichnet, dass am Rücken der Hand und gegen den Vorderarm zu 4 kleine Benarbungsinsein in verschiedenen Abständen zu einander sichtbar waren; die Haare liessen sich jedoch leicht abheben, zeigten also keinerlei Verbindung. —

Am 17. Februar haben die jungen centralen Benarbungsstellen am Rücken der Hand sich gegenseitig und auch den bedeutend näher gerückten Narbensaum erreicht, der Handrücken ist also überhäutet; 2 weitere Inseln sind von da ausgehend über dem

ersten Dritttheil des Vorderarms, soweit sich eben die Aufpflanzung erstreckt hatte, bemerkbar. — Die Aufpflanzungen werden fortgesetzt. —

3. März. Die ganze Benarbung geht rasch vorwärts, namentlich, wo Haare aufgepflanzt waren; nahezu die Hälfte des Vorderarms ist mit einer grossen Narbendecke überzogen, oder es sind wenigstens nur mehr kleine Granulationslücken zwischen centralem und peripherem Narbensaum sichtbar. Aber nirgends ist bis jetzt noch während der ganzen Transplantation das Haar selbst geblieben und wo ein solches auf der neugebildeten Benarbungsinsel zu haften schien, war es doch leicht durch Wasserstrahl oder durch den geringsten Zug zu entfernen.

Der Kranke entzieht sich nun der Beobachtung durch den Austritt aus dem Spital, das er aber unter stark fieberhaften Erscheinungen am 20. März wiederum betritt. Die Wunde sieht übel aus, die benarbten Stellen sind zum Theil aufgebrochen. Die Wunde wird mit Chlorzink geätzt und dann mit Carbolsäure verbunden.

28. März. Das Allgemeinbefinden ist wenig befriedigend, die Wunde um etwas besser in ihrem Aussehen geworden. Ich beginne mit der Transplantation von Haaren in der früher angegebenen Weise, eigentlich in der Hoffnung, nach dem wahrscheinlich baldigen lethalen Ausgange mikroskopische Untersuchungen über den Vorgang bei der Ueberhäutung nach Haartransplantation anstellen zu können. Es kam anders; — am 5. April war Patient vollkommen fieberfrei und von den zahlreich aufgelegten Haaren aus sind an 3 Punkten über dem proc. styloid. ulnae in einiger Entfernung von einander stecknadelkopfgrosse Narbeninseln aufgetreten, die Haare selbst aber leicht zu entfernen. Es werden nun neuerdings frisch ausgezogene Haarwurzeln in verschieden grossen Abständen auf der vorderen Hälfte des Vorderarmrückens theils näher dem äusseren Narbenrande, theils mehr gegen das Centrum des Geschwüres aufgepflanzt. —

22. April. Heute sind im Ganzen bereits 7 mehr minder grosse Benarbungsinseln inmitten der Geschwürsfläche zu bemerken. Zwei derselben, am meisten nach vorne gelegen, haben sich bereits mit dem äusseren Narbensaume und unter sich vereinigt und gehen also

continuirlich in einander über. Kenntlich sind hauptsächlich ihre Mittelpunkte, an denen eine dickere Epithelschicht hervorragt. Eine fast sechsergrosse Insel steht mit einem breiten Fortsatz dem weit fortgeschrittenen äusseren Narbenrande so nahe, dass die Vereinigung damit baldigst zu erwarten steht. — Neue Transplantationen geschehen mehr nach rückwärts und über der grössten Geschwürsbreite am Ellbogen. —

5. Mai. An letzterer Stelle haben sich 2 kreuzergrösse Inseln in der Nähe des Randes gebildet; die Haare aber liegen auf diesen ohne jegliche Verbindung mit ihrem Boden. Die Geschwürsfläche ist wieder um sehr viel kleiner geworden. 7 Inseln, zum Theil schon mit dem Rande verbunden, zum Theil noch alleinstehend oder der Vereinigung nahe, werden am Vorderarmrücken gezählt, oft sehr deutlich durch ihr Centrum, das wesentlich dicker und fester ist, als ihre Ränder. Wieder werden viele Haare aufgelegt. —

13. Mai. Die vordere Armhälfte ist ganz mit Narbe überzogen; die übrige Geschwürsfläche, viel kleiner, zeigt heute mit Ausnahme der Ellbogengegend theilweise nur mehr Geschwürsinseln, die durch breite Narbenbrücken von einander getrennt sind. Im Ganzen sind 9 durch die Transplantation veranlasste Epithelinselbildungen zu zählen.

Diesen Versuchen könnte ich noch eine Anzahl vollständig misslungener beigeben, die aber weiter nichts darthun würden, als dass gelegentlich Einmal die Aufpflanzung von Haaren erfolglos bleibt. Diese Erscheinung lässt sich aber wie bei anderen Transplantationen aus zufällig ungünstig wirkenden Umständen erklären; unter diese rechne ich: nicht ganz reine oder zu üppige Granulationen, Blutungen derselben, vielleicht nicht geeignete Haare, schlechtes Aufliegen derselben, mangelhafte Ruhe von Seite der Patienten und dergl. Wir wollen uns also nur an die positiven Resultate halten, die uns da lehren, dass von einer aufgelegten Haarwurzel aus, wenn diese mit der äusseren Wurzelscheide umgeben ist, auf Geschwüren Benarbungscentren ausgehen können, die fest und innig mit den darunter liegenden Granulationen verwachsen. Diese Anheftung, die anfänglich nach 24 Stunden vielleicht kaum, später nach 3 bis

5 Tagen durch eine kleine schwachrothe, später weissliche Stelle bemerkbar ist, scheint lieber und auch rascher zu Stande zu kommen, als es bei Transplantation von Hautstückchen der Fall ist. Sie bedeckt als ein Anfangs zartes, später meist dicker werdendes Häutchen die darunter liegenden Granulationen und lässt diese durchschimmern. Der Rand dieses Ueberzuges verbreitert sich im Verlaufe der Tage mehr und mehr, geht aber über eine gewisse Grenze (Sechsergrösse) meist nicht hinaus. Die Vergrösserung geschieht nicht gleichmässig, sondern geht an einzelnen Stellen oft rascher als an anderen vor sich, so dass Fortsätze und Zacken entstehen. Die Fortsätze bilden sich besonders gern an den der Randbehäutung oder einer anderen Narbeninsel nahe liegenden Stelle, wodurch auch meist rasche Vereinigung der gegenüberliegenden Ränder erzielt wird. Die Randbehäutung scheint unter solchen Umständen wesentlich begünstigt zu sein und rascher vor sich zu gehen. Was die Haare selbst anlangt, so finden wir diese allerdings in einzelnen Fällen mehr weniger adhärent; ob sie es aber auch in der Folge bleiben, dafür fehlen Anhaltspunkte, obwohl ich es nach Erfahrungen aus der folgenden Versuchsreihe bezweifeln möchte. Vielmehr halte ich dafür, dass nach vollendeter Verwachsung der Haarscheide mit der unter- oder anliegenden Fläche die Schäfte ausfallen. Aber soviel scheint wenigstens aus den Versuchen hervorzugehen, dass, wenn noch rete Malpighii auf der zu transplantirenden Schicht (S. oben Vers. 1 und 2) nach leichter Verbrennung etc. vorhanden ist, die Haare eher und auch länger mit der sie umgebenden, die Benarbung veranlassenden Scheide verbunden bleiben, als im entgegengesetzten Falle. Obwohl die Möglichkeit, die hiebei stattfindenden Vorgänge mikroskopisch zu analysiren, wegen des ausschliesslichen Versuchs an Menschen begreiflicherweise benommen ward, so folgt doch in Betreff des Ausgangs der Narbeninseln mit aller Bestimmtheit, dass er nur von Epithelien, d. h. also von den Zellen der äusseren Wurzelscheide geschah. Schlagender scheint mir, könnte der Beweis für die ausschliessliche Regeneration der Epithelien aus präexistirenden kaum geliefert werden. — Eine Granulationsfläche sondert immer Eiter ab, dieser kann eindicken, vertrocknen, aber in langer, ja unendlicher Zeit

bildet sich nichts, was einer Ueberhäutung, einer Epithelinsel, mitten im Centrum eines Geschwüres gleicht. Nur von den Rändern her, also da, wo Epithel ist, und also wuchern kann, geschieht die Benarbung ausschliesslich. Man legt eine Haarzwiebel mit der äusseren Wurzelscheide versehen auf, und von diesem Punkte aus beginnt dann gerne, oft rasch eine Epithelbildung. Dass der Schaft nichts zur Regeneration beitragen könne, haben die negativen Resultate mit Haarschäften allein gemachter Transplantationen deutlich dargethan. Es bleibt also keine andere Erklärung über als die, dass die Epithelzellen der äusseren Scheide es waren, die auf günstigem Boden anwuchsen und gediehen. —

Centrale Narbeninseln werden dann und wann auch ohne Transplantation inmitten grosser Geschwürsflächen gefunden. Billroth[1]) gab dafür die Erklärung, der sich viele Chirurgen z. B. Thiersch[2]) und pathologische Anatomen z. B. Waldeyer[3]) anschlossen, dass diese von stehen gebliebenen vielleicht oft unter den Granulationen verborgen gestandenen Parthieen des Schleimnetzes ihre Entwicklung genommen haben. In der That darf diess in den meisten Fällen von central auftretenden Narbeninseln angenommen werden, und lässt sich bei weniger tiefgreifenden Geschwüren manchmal auch leicht konstatiren. Vielleicht sind aber manchmal Haare mit ihren Wurzelscheiden oder deren Zellen zufällig auf Granulationen gefallen und haben dort Wurzel gefasst. Thiersch will allerdings gefunden haben, dass in seltenen Fällen an vollkommen geschützten Punkten Inseln erscheinen, die dann aber meist in kurzer Zeit wieder verschwinden; diese also scheinen keineswegs mit wahrer Epidermisüberhäutung zusammen zu hängen. —

Die Frage der Regeneration und Neubildung der Zellen im Allgemeinen, wie der Epithelien speziell fand bis in die neueste Zeit durch verschiedene Forscher bekanntlich verschiedene Beantwortung. Der ursprünglich Schwann'schen Lehre, wonach von ausgetretener flüssiger Masse vom Blute die jungen Elemente ent-

---

1) Billroth, Allg. chir. Path. u. Therap. 1863.

2) Thiersch, Pitha-Billroth, Handbch. der Chir. I, 2. Abth. u. Volkmann's klinische Vorträge.

3) Waldeyer, Virch. Arch. XLI.

stehen, kam in der neuesten Zeit Arnold[1]) ziemlich nahe. Er studirte am harten Gaumen und an der Kopfhaut des Hundes nach tiefen Substanzverlusten und genauester Entfernung des Wundrandes die Epithelbildung und konnte trotz alledem das Auftreten von Epithelinseln nachweisen. Seine weitern an der Zunge, Hornhaut und Schwimmhaut des Frosches über Epithelregeneration angestellten Versuche brachten ihn zu der Ueberzeugung, dass die Epithellücken mit einer feinkörnigen, protoplasmaartigen Substanz erfüllt werden, die am Epithelrande eigenthümlich glasig und lichtbrechend wird. Darin werden nach Art der Dotterfurchung Erscheinungen beobachtet, wodurch grössere und kleinere Abschnitte entstehen. Allmählig werden in letztern Kernkörper und um diese Kerne sichtbar, woraus zuletzt die Epithelzelle wird. —

Nach Virchow sollte das Bindegewebe den Mutterboden für die Regeneration abgeben, die jungen Zellen als Theilprodukte der früher vorhandenen Bindegewebszellen gelten. Remak, der die Abstammung der Zellen nach ihren Keimblättern urgirte, hielt die Regeneration des wahren Epithels nur aus Zellen des Keimdrüsenblattes für möglich, eine Ansicht, die Waldeyer nach dem Vorgange von Thiersch[2]) auch für die Entstehung der Carcinome vertritt, und der viele wichtige Autoren (v. Buhl, Wagner etc.) beipflichten.

Die vielfach angestellten experimentellen Versuche über Epithel-Regeneration und Neubildung sprechen mit wenig Ausnahmen für letztere Auffassung.

F. A. Hoffmann,[3]) der mit Kaninchen- und Froschhornhaut experimentirte, lässt die Regeneration der Epithelien nur aus den vorhandenen Randzellen entstehen. Diese treiben Fortsätze, die sich abschnüren und die Epithellücken erfüllen; nach ihm haben die Wanderzellen eine vorbereitende, die Epithelien lockernde und verschiebende, aber durchaus keine Epithelien regenerirende Bedeutung.

---

1) Arnold, J., Virch. Arch. Bd. 46.
2) Thiersch, der Epithelkrebs. 1865.
3) F. A. Hoffmann, Virch. Arch. Bd. 51. 1870.

Nach Wadsworth und Eberth,[1]) welche die Regeneration des Epithels nach Entfernung desselben an der Hornhaut beim Frosche, Kaninchen und Meerschweinchen studirten, ist eine Bindegewebsbetheiligung ebenso wie eine freie Zellbildung (Arnold) auszuschliessen. Es wuchern die Randzellen und stehengebliebene Epithelinseln; indem diese sich vergrössern und theilen, füllen sie den Substanzverlust aus. Heller[2]) beobachtete die Theilung der Epithelzellen bei Zungenwunden direkt; er fand auch in epithelialem Eiter von den lymphoiden Körpern verschiedene Zellen, die er als losgelöste Epithelien deutete. Ebenso traf Heiberg,[3]) der nach Abkratzen der Hornhaut bei Fröschen, Hühnern und Ratten die Regeneration verfolgte, die Wanderzellen unbetheiligt, dagegen die angrenzenden Zellen Fortsätze und Zapfen bilden, ihre Kerne sich theilen und so eine von diesen ausgehende allmählige Ausfüllung der Lücken. Aehnlich sah Krause[4]) bei successiven Flächenschnitten am Corneaepithel deren Regeneration von diesem und zwar von der 3. Schicht beginnend. Auch Cleland[5]) erkannte bei seinen Untersuchungen das Epithel der Hornhaut selbst und zwar dessen mittlere Schicht als die Quelle der Regeneration. Nach Lott[6]) sollten die Fusszellen des Hornhautepithels, indem sie kernhaltige Protoplasmastücke zur Erfüllung des Substanzverlustes aussenden, die Regeneration des Hornhautepithels besorgen. Schroen[7]) lässt die Ueberhautung aus der Malpighi'schen Schichte entstehen. Endlich hat auch Klebs[8]) in neuester Zeit nach seinen direkten Beobachtungen der Epithelregeneration an der Froschschwimmhaut festgestellt, dass diese ausschliesslich durch ein Auswachsen der Epithelien der tiefsten Schicht zu Stande kommt und zwar entweder durch contractil werdende einzelne Zellen, die wandern und sich

1) Wadsworth-Eberth, Virch. Arch. Bd. 51, 1870.

2) Heller, Erlangen, Habilitationsschrift 1869 u. Erlang. Sitzgsber. der phys.-med. Gesellschaft, 1872.

3) Heiberg, Oesterr. Jahrb. 1871.

4) Krause, Arch. f. Anat., Phys. u. wiss. Med. 1870.

5) Cleland, Journ. of anat. and phys. 1862.

6) Lott, med. Centralbl. 1871 Nr. 37.

7) Schroen, contribe alla anat. fisiol. e path. 1865.

8) Klebs, Arch. f. experiment. Path. Bd. III, Hft. 2.

später wieder aneinander lagern, oder durch gleichmässiges Auswachsen aller Zellen des Epithelrandes. — Angesichts so vieler Untersuchungen und Beobachtungen, aus denen zunächst wenigstens hervorgeht, dass nur präexistirende Epithelzellen den Ausgangspunkt für deren Regeneration abgeben, und angesichts der direkten unumstösslichen Nachweise, die die Haut- und Haar- beziehungsweise Epidermistransplantation liefert, müssen die Angaben über die Regeneration aus Bindegewebs- und Wanderzellen oder gar aus freiem Blastem zurücktreten. Vielleicht lassen sich die Mittheilungen von Biesiadecki,[1]) der wie einige Andere die Wanderzellen an der Epithelbildung betheiligt wissen will, und von Pagenstecher,[2]) der Aehnliches an der abgestorbenen Haut sah, durch die wandernden epithelialen Elemente von Heller und Klebs erklären. Ebenso ist vielleicht die Lehre Arnold's nach der jüngsten Klebs'schen Dartellung zu deuten. — Wenn demnach eine überaus grosse Mehrheit der schlagendsten Angaben die Epithelregeneration aus bereits vorhandenen lehrt, während nur eine kleine Minderheit für andere Lehren eintritt, kann man, glaube ich, dreist den Satz aussprechen: „die Regeneration des Epithels geht von präexistirenden Epithelzellen aus," denn dafür stehen eine Reihe unumstösslicher Thatsachen und Wahrheiten ein, während für eine Epithelregeneration aus Bindegewebe, Wanderzellen etc. kaum mehr als unbegründete Hypothesen, jedenfalls aber bis jetzt auch nicht eine einzige Thatsache sprechen.

## II. Versuchsreihe.

Bevor ich auf die hier zu erwähnenden Versuche von Implantationen frisch ausgerissener, mit Wurzel und Wurzelscheiden versehener Haare in die vordere Augenkammer eingehe, muss ich zweier Arbeiten erwähnen, die in letzterer Zeit über ähnliche Implantationen erschienen sind.

In der einen machte Dooremal[3]) auf Donders' Veranlassung,

1) Biesiadecki, Wiener Sitzgsber. 1871, u. Unters. aus d. path.-anat. Inst. in Krakau 1872 u. Arch. f. Dermat. u. Syph. 1870 II, 3.

2) Pagenstecher F., 1868.

3) Dooremal, Graef. Arch.: Entw. d. in fremd. Grund vorh. leb. Gew. Bd. XIX, Abth. III, Nr. XII.

um über Ursprung und Entstehung von Iriscysten etc. ins Klare zu kommen, den Versuch, bei Hunden und Kaninchen verschiedene Stoffe (Papier, Haare) und lebende Gewebe in die vordere Augenkammer zu bringen. Seine Versuche gaben aber hinsichtlich der Entstehung der Cysten keine genügende Erklärung. Doch wurde gezeigt, dass die hineingebrachten Theile ausgestossen oder abgekapselt und abgestorben gefunden werden. In anderen Fällen werden eingepflanzte Gewebe wirklich integrirende Bestandtheile des Auges, von ihm ernährt und mit Gefässen versehen. So wurde mit der eingebrachten Lippenschleimhaut eine ähnliche Geschwulst, wie die von Buhl und Rothmund[1]) beschriebene, erzielt und dadurch gezeigt, dass lebendes Epithel, mit der Basis, auf der es ruht, in das Auge gebracht, darin fortwuchern kann.

Ein Versuch war ganz besonders interessant. Nach Implantation von einem Haare, das er unter die todten Körper zählt, fand er das Haar unverändert und nicht mit seiner Umgebung verbunden. Aber es war von der umgebenden verdickten Iris eine Wucherung ausgegangen, die aus grossen sich verzweigenden, mehr oder minder entwickelten, sehr gefässreichen Papillen bestand. Eine Erklärung für die höchst auffallende Erscheinung gab Dooremal nicht, glaubt aber nicht an einen spezifischen Einfluss des Haares oder der mit hineingebrachten Stoffe.

In der zweiten Arbeit von Goldzieher[2]) wurden ähnliche Versuche an Kaninchen gemacht. Es ergibt sich aus diesen, dass das implantirte Gewebe sehr bald mit der Iris verklebt und an seiner Stelle auch nach Wiederansammlung des Kammerwassers liegen bleibt. Lebensfähige Gewebe können hiebei anheilen durch in sie eindringende Gefässe und dann schrumpfen oder weiterwachsen; letzteres geschieht aber nicht regellos, sondern stets nach dem physiologischen Typus des eingebrachten Gewebes. — Es mag hervorgehoben werden, dass von diesen Arbeiten unabhängig meine Experimente lediglich auf v. Buhl's Veranlassung angestellt wurden. Als Versuchsthiere dienten Hunde und Kaninchen, die sich beide in gleicher Weise gut hiefür eignen. Das Verfahren, die Haare in

1) L. c.

2) Goldzieher, Arch. f. exper. Path. u. Pharmakolog. 1874. II. Bd. 6. Hft.

die vordere Augenkammer einzubringen, bestand darin, dass einfach mit einer feinen Nadel die Cornea meist in ihrem Centrum, seltener etwas mehr seitlich, durchstochen wurde. Obwohl Kammerwasser beim Zurückziehen der Nadel gewöhnlich in grosser Menge ausfloss, so gelang es doch in der Regel leicht, die von den Augenlidern oder der Schnauze mit der Wurzel ausgezogenen Haare in die Stichöffnung einzuführen. Von da wurden sie mit möglichster Sorgfalt und Schonung auf die vordere Irisfläche gebracht und entweder der Schaft aus der Cornea hervorstehen gelassen, oder möglichst nahe an der Wurzel abgeschnitten und durch leichtes Drücken und Reiben, hie und da auch nachhelfend mit der Nadel vollends in die vordere Augenkammer vor die Iris gebracht. Diese Operation war fast ausnahmslos sehr leicht auszuführen, und störte hiebei selbst gelegentliche leichte Faltung der Cornea und Iris nicht. Anfänglich wurde nach dem Einbringen der Haare, um ihre Entfernung durch das Reiben und die Unruhe der Thiere zu verhüten, lege artis ein fester Occlusionsverband angelegt. Aber es zeigte sich bald, dass dieser unnöthig und illusorisch war. Denn verschwanden die Haare, d. h. wurden sie wieder aus der vorderen Augenkammer entfernt, so geschah diess sowohl mit als ohne Occlusionsverband, der überdiess sehr bald gelockert wurde. Günstigerweise aber fanden sich die Haare nur in ganz seltenen Fällen wenige Tage nach der Operation nicht mehr an dem Orte ihrer Verbringung. Regel war vielmehr, dass sie auf der Iris, selbst nach dem baldigen Wiederersatze des Kammerwassers, liegen blieben. Aber es kam auch vor, dass sie nachträglich auf die Hinterfläche der Hornhaut sich legten und dort ohne alles Weitere verblieben. Der Operationserfolg war im Allgemeinen meist ein günstiger. Die bekannte Thatsache, dass fremde Körper in der vorderen Augenkammer leicht ertragen werden können, trat auch hier augenscheinlich hervor. Die Haare blieben oft, ohne irgend eine Reaktion, sei es von Seite der Iris, sei es von der Cornea aus, hervorzurufen, Tage lang an ihrer Stelle liegen. Nur selten traten stärkere Reizerscheinungen, ganz ausnahmsweise, vielleicht durch andere Ursachen bedingt, Eiterungen, auf. Diese, wie einzelne andere lichte Flocken, verschwanden aber auch wieder, und so

kam es, dass ich nie ein Auge durch Panophthalmitis oder dergl. verlor. In der Regel traten die Erscheinungen der Anwachsung, Einkapselung, Verdickung an der Implantationsstelle etc. ganz allmählig auf.

1. Versuch.

Am 20. Januar wird einem schönen grauen, ziemlich grossen Kaninchen die linke Cornea durchstochen; hierauf je ein mit der Wurzel versehenes Haar der Cilie und der Schnauze dem Thiere ausgerissen und noch während des Abflusses des Kammerwassers durch die Stichöffnung in die vordere Augenkammer gebracht. Es gelingt leicht, die Haare auf die Vorderfläche der Iris zu legen; der Schaft bleibt aus der Cornea hervorstehen. Ein fester mit Charpieballen und darüber in circulären Touren gelegter Verband verschliesst das Auge vollkommen. Das Thier verhält sich nach der Operation vollkommen normal.

21. Januar. Die Cornea ist in ganz kleinem Umkreise des Einstiches etwas trüb. Die Haare befinden sich noch an der ursprünglichen Stelle, aber die Wurzeln und zum Theil auch die Schäfte zeigen sich überzogen mit einem leichten, graulich durchscheinenden Flecke. Die Conjunctiva ist durch den Reiz der Haarschäfte stärker geröthet und sondert etwas eitrige Flüssigkeit ab. Allgemeinbefinden des Thieres gut. — Der gewaltsam entfernte Occlusionsverband wird wieder erneuert, die Füsse vorne und rückwärts leicht gebunden.

24. Januar. Der Verband ist vollkommen locker. Nach Abnahme desselben zeigt sich die Conjunctiva stark geröthet, kleine Eiterflocken liegen auf ihr und im innern Augenwinkel. Die Cornealwunde ist nur noch ganz wenig in ihrer allernächsten Umgebung getrübt. Die Flüssigkeit in der vordern Augenkammer hat sich wieder vollständig ersetzt und ist durchsichtig, ohne jede Trübung. Das Wurzelende des Haares und ein kleiner Theil des Schaftes liegt noch wie Anfangs auf der vordern Irisfläche auf. Man sieht von der Iris ausgehend eine kleine Falte sich erheben, die den Anfangstheil der Wurzel umgibt. — Die am 21. Januar bemerkte Flocke scheint verschwunden. Ein neuer Verband wird nicht mehr angelegt.

31. Januar. Die Conjunctiva ist nicht mehr so geröthet, ihre Secretion ist weniger geworden. An der Einstichsstelle der Cornea findet sich nur ein äusserst schmaler Ring, der, nur mehr mit der Lupe erkennbar, trüber ist als das übrige Gewebe; die vordere Augenkammer ist mit ganz klarer Flüssigkeit angefüllt. Die faltenartige Erhebung der Iris hat sich nun weiter längs des Haares vorgeschoben, so dass die ganze Wurzel und ein kleiner Theil des Schaftes in einer von der Iris gebildeten Hülle zu liegen scheint. Das Haar ist durch leisen Zug nicht mehr aus seiner Stellung an der Iris zu bringen. Der innerhalb der kleinen Corneawunde befindliche Theil des Schaftes ist leicht und allseitig beweglich, dagegen ist die Wurzel adhärent mit dem umgebenden Irisgewebe, das sich beim Zuge mitbewegt.

Am 2. Februar Morgens 9 Uhr verendet das Thier plötzlich; die Sektion ergibt, dass eine eitrige Pleuritis und Pericarditis vorhanden war. Die Conjunctivalreizung scheint wesentlich geringer geworden. Der Haarschaft ist in der Corneawunde noch beweglich. Die Iris bildet da, wo das Haar auf ihr gelegen war, einen zipfligen Kegel, der mit seiner Spitze etwas in die vordere Augenkammer frei hineinragt, mit seiner Basis continuirlich in das übrige Gewebe der Iris übergeht. In diesem Kegel liegt die Haarwurzel verborgen, und ist durch Zug am Schaft nicht daraus zu entfernen. — Zur mikroskopischen Untersuchung wird das Präparat in Alkohol erhärtet und dann Längsschnitte angefertigt. Diese geben über die Verhältnisse von Wurzel und Iris, da der Schnitt diese Parthie nicht eben gut getroffen hat, keinen Aufschluss. Dagegen findet man das Haar, soweit der Iriskegel dasselbe überzieht, überall innig umgeben von einem dichten faserigen Gewebe, in das zahlreiche verästelte, pigmentirte Zellen mit Gefässchen eingestreut sind. An seiner Oberfläche ist der Kegel allseitig bedeckt von dem der Iris normal anhaftenden, platten Endothel. Der Schaft des Haares selbst erscheint an seiner Spitze etwas aufgefasert.

### 2. Versuch.

In die rechte Cornea desselben Thieres wird am 25. Januar ein Einstich gemacht und zwei Lidhaare mit ihren Wurzeln auf die Iris gebracht. Kammerwasser ist ausgeflossen. Occlusionsverband.

28. Januar. Die Conjunctiva ist stark injicirt, sondert Eiter ab; das Kammerwasser hat sich ersetzt. Die Haarwurzeln liegen nicht mehr auf der Iris, sondern ragen frei flottirend in die vordere Augenkammer; der Inhalt derselben ist durch eine kleine flockige Wolke getrübt. — Die Haare werden wieder auf die Iris geschoben. Fester Verschluss des Auges durch den Verband. — Nach dem Tode des Kaninchens am 2. Februar sind die Haare in diesem Auge nicht mehr zu finden, auch die Exsudatflocke in der vorderen Augenkammer, die nun ganz rein erscheint, ist verschwunden. An der Iris ist keinerlei Veränderung zu bemerken; die Einstichsstelle in die Cornea ist geschlossen und nur in ganz geringem Umfange getrübt, die Conjunctiva viel weniger geröthet.

3. Versuch.

28. Februar. Einem grauen, weiblichen Kaninchen, ziemlich gross, wird je Ein Haar des Lides und der Schnauze nach Durchstechung der linken Cornea in die vordere Augenkammer gebracht und auf die Iris gelegt. Die Schäfte werden sehr nahe an der Cornea abgeschnitten. Kammerwasser war ausgeflossen. Es wird das Thier ohne Verband in seinem Käfig gelassen. Gleichzeitig wurden durch die rechte Cornea 2 Lidhaare eingeführt, die aber, da die Iris an die Stichwunde sich anlegte, hinter dieselbe mit ihren Wurzeln zu liegen kamen.

4. März. Am linken Auge ist die Conjunctiva der Lider stark geschwellt und injicirt, auf dem Lide liegen, ebenso wie auf der Cornea, stellenweise kleine Eiterflocken. Nach Entfernung derselben erscheint die Umgebung der Einstichsstelle in die Cornea nur ganz wenig getrübt. Das Wasser in der vorderen Augenkammer ist wieder vorhanden, das Haar der Schnauze mit ziemlich dickem Schafte liegt noch an der früheren Stelle, dagegen ist das Lidhaar verschwunden. Am rechten Auge hat sich die Iris wieder geglättet und von der Cornea zurückgezogen, das Kammerwasser ist klar. Die Pupille ist an ihrer äusseren Seite, entsprechend der Stelle, wo die Haare anliegen, etwas verzogen. Das Ende des Haarschaftes liegt in der vorderen Augenkammer.

10. Februar. Die Eiterung der Conjunctiva am linken Auge besteht noch in mässigem Grade; die Conjunctiva ist namentlich

am Rande der Cornea mit vielen erweiterten und stark injicirten Gefässen versehen. Der starre Schaft des Schnauzhaares steht aus der Corneawunde etwas hervor, letztere ist in ihrem Umkreise trüb und geschwellt. Die Haarwurzel liegt auf der Iris wie bisher, doch scheint sie verdickt und verbreitert. Am rechten Auge ist an Stelle der früheren Corneawunde nur mehr eine leichte Trübung bemerkbar, die vordere Augenkammer ist vollkommen klar, die Pupille ist ziemlich normal, nur kleine Vorsprünge der Iris zeigen sich entsprechend der Lage der implantirten Haare, deren frei in der vorderen Augenkammer flottirende Schäfte deutlich sichtbar sind.

22. Februar. Die Eiterabsonderung aus der Conjunctiva des linken Auges hat sich verringert, am äusseren Augenwinkel sieht man ein neugebildetes Gefäss mit Blut gefüllt in den Cornearand eindringen, die Iris zeigt sich an manchen Stellen wie mit einem Schleier überzogen. Am margo ciliaris, da wo die Haarwurzel aufliegt, zeigt sich ebenfalls eine häutige Erhöhung, die allmählich in das Gewebe der Iris überzugehen scheint. — Das rechte Auge zeigt keine merkbare Veränderung.

3. März. Das neugebildete Gefäss in der Cornea ist weiter vorgedrungen in der Richtung der Einsichtsstelle, von der es nur mehr $3^{mm}$ entfernt ist. Der leicht trübe Ueberzug der Iris hat sich fast über seine ganze Fläche ausgedehnt und erscheint an einzelnen Stellen dicker. Die Verdickung der Wurzel ist aber noch deutlicher kenntlich und dadurch auch grösser geworden, dass die Iris sie theilweise überzieht. Die über die Haare gezogenen kleinen Iriskegel am Pupillarrande des rechten Auges scheinen etwas grösser.

14. März. Das Gefäss in der Cornea, an dem nun auch 2 seitlich abgehende Aeste bemerkbar sind, hat die Einstichsstelle erreicht, die in ihrer nächsten Umgebung noch immer getrübt erscheint. Die Injektion der Conjunctiva ist wesentlich geringer. Ausser dem trüben Häutchen, das die Iris mehr minder bedeckt, und der höckerigen von Irisgewebe überzogenen Stelle am margo ciliaris, entsprechend dem Sitze der Haarwurzel, sieht man heute auch noch, dass die Iris weiter vorne gegen den margo pupillaris eine kleine Brücke über den Haarschaft gebildet hat. Es ist also nicht nur die etwas verdickte Haarwurzel am margo ciliaris

theilweise von Irisgewebe überzogen, sondern auch der in der Nähe des margo pupillaris liegende Theil des Schaftes, während das zwischen beiden liegende Stückchen desselben auf der Iris frei aufliegt. Am rechten Auge keine Veränderung.

29. März. Nahezu derselbe Befund am linken Auge, vielleicht ist die Brücke über dem Haarschaft gegen den Pupillarrand etwas breiter geworden; auch am linken Auge hat sich nichts Wesentliches geändert.

26. April. Vom neugebildeten Gefässe der linken Cornea gehen mehrere Aeste seitlich ab, die Trübung der Cornea besteht noch fort, und hat sich sogar in der Fläche etwas ausgedehnt. Der durchscheinende die Iris etwas verschleiernde Ueberzug ist ebenfalls etwas dichter geworden. Die Brücke über dem Haarschaft hat den Pupillarrand erreicht. — Am rechten Auge status idem.

Am 10. Mai wird das Thier durch Verblutung aus der linken carotis getödtet. Es zeigt sich, dass die rechte Cornea ziemlich trübe ist und vom Rande her neugebildete und verästelte Gefässe enthält, die bis zu der Stelle, wo der starre Schaft aus der Einstichswunde heraussteht, reichen. Der Schaft ist in der Corneawunde zwar beweglich, scheint aber von der Irisbrücke am Pupillarrande stark umschnürt. Die Haarwurzel ist dicker geworden, zum Theil von der Iris überzogen; sie liegt am Ciliarrande der Iris und berührt die Cornea an ihrem Uebergang in die Sclera. Die Iris scheint an ihrer ganzen vorderen Fläche mit einem stellenweise dichteren, graulich durchscheinenden Häutchen überzogen, das sich mit der Pincette leicht in zusammenhängenden Fetzen abheben lässt. Diese bestehen bei der mikroskopischen Untersuchung fast nur aus kleinsten, rundlichen, gleich grossen, scharf contourirten Körperchen, die ganz den Charakter von Mikrokokken tragen. Sie scheinen in eine vollkommen gleichartige, durchscheinende Intercellularsubstanz eingebettet und haben ein etwas gelbliches Colorit. Man wird nicht irre gehen, wenn man annimmt, dass diese Bakterien aus der Luft durch die hiefür noch immer genug Raum lassende Cornea-Einstichswunde auf die Iris gelangt sind. Interessant ist es immerhin, dass sie hier so harmlos liegen bleiben, ohne irgend welche störende Vorgänge zu veranlassen. — Mikroskopische Quer- und

Längsschnitte geben nun weitern Aufschluss über das Verhalten von Haarschaft, Haarwurzel und über das umliegende Gewebe. Was zunächst die Irisbrücke am Pupillarrande betrifft, so sieht man, wie hier die sternförmigen, zum Theil sehr intensiv pigmentirten, stark verästigten Zellen der Iris, nicht minder die darin liegenden Faserzüge, Muskelfasern und Gefässe den Haarschaft genau einschliessen; nur da, wo derselbe auf der Iris selbst aufliegt, ist auf Querschnitten nicht immer eine enge Umschnürung zu beobachten. Vielmehr ist hier manchmal eine Lücke zwischen Irisgewebe und Haarschaft zu beobachten, die wohl im frischen Zustande mit Kammerwasser erfüllt ist. Am interessantesten liegen aber die Verhältnisse in der Gegend des margo ciliaris, wo die Haarwurzel lag. Betrachten wir den Durchschnitt (Taf. VII Fig. 2), der durch diese Gegend geführt ist, so erhalten wir damit den genauesten Aufschluss.

Bei (1) sieht man 4 Ciliarfortsätze mit dem sie bekleidenden Epithel; an diese schliesst sich das Irisgewebe (2) an. Vorn ist bei (3) die Cornea und die Uebergangsstelle in die Sclerotica, sowie eine kleinere Parthie von beiden gezeichnet. (4) bezeichnet das Epithel der Conjunctiva. In der vordern Augenkammer (5) finden sich bei (6), also gegen den margo ciliaris der Iris hin, Zellen mit epithelialem Charakter angehäuft, die hier den Raum vollständig erfüllen und sich zum Theil tief in das Irisgewebe erstrecken. An letzterer Stelle sind einzelne Zellen entschieden pigmentirt. Die meisten der Zellen sind blass, liegen eng aneinander und haben einen deutlichen, grossen Kern, der ebenso wie das Protoplasma fein granulirt ist. Meist sind sie gleich gross, nur gegen die Iris zu etwas kleiner; die Gruppirung zu Zapfen springt deutlich in die Augen. — Nach Gestalt und Anordnung tragen sie also den Charakter von wahren Epithelzellen an sich, wie sie in dem Malpighi'schen Schleimnetze oder als Wurzelscheide der Haare zu finden sind. Weil nun da, wo die Anhäufung der Zellen sich findet, die Haarwurzel gelegen war, so lässt sich wohl mit Bestimmtheit annehmen, dass die an ihr haftenden Zellen der äussern Wurzelscheide hier guten Nährboden fanden, wuchsen und gediehen und so zur Neubildung sich gestaltet haben. Und jedenfalls ist der Zellenbelag

der Iris oder der Descemetischen Membran als Ausgangspunkt hiefür schon von Vornherein auszuschliessen; denn eine Wucherung von diesem hätte nur Bindegewebe, das innig mit einander verwachsen wäre, erzeugen können. — Das die neugebildeten Epithelien umgebende Gewebe ist in wuchernde Mitleidenschaft gezogen und nicht nur entschieden verdickt und vermehrt, sondern stellenweise deutlich mit Kerninfiltraten versehen.

Im linken Auge fanden sich keinerlei wichtige Verhältnisse; allenthalben waren die Haare von einer dünnen Schichte Iris umgrenzt, die an ihrem Puppillarrande um jedes Haar sich in einen kleinen Zipfel auszog. Entsprechend dem Sitze der Haarwurzel war die umgebende Pigmentschicht so dicht, dass sie einen weitern Einblick nicht gestattete; jedoch wird aus Vergleichung der Parallelschnitte hervorgehen, dass eine Wucherung epithelialen Charakters etwa ähnlich wie links nicht zu Stande gekommen war.

4. Versuch.

Einem schwarzen Pudel wurde am 29. Januar in das linke Auge wie früher durch Einstich in die Cornea ein Haar seines Lids und ein menschliches Kopfhaar implantirt, von denen jedes mit der Wurzel versehen war; ebenso werden auf die Iris des rechten Auges durch die Cornea 2 Lidhaare gelegt; die Haarschäfte ragen rechts nicht aus der Cornea hervor.

30. Januar. An beiden Augen ist nicht die mindeste Reaktion zu vermerken; nur am linken Auge findet sich in der nächsten Zone des Einstichs eine fast unmerkliche Trübung; die Haare liegen noch an der Stelle, wohin sie Tags vorher gebracht wurden. Das Kammerwasser hat sich gebildet; die Iris reagirt normal.

31. Januar. Die Trübung um die Corneawunde ist links etwas merklicher; die Iris zeigt da, wo das menschliche Haar liegt, eine kleine faltige Erhebung, die den Anfangstheil der Wurzel überzieht; am rechten Auge ist keine Veränderung wahrzunehmen.

Am 2. Februar wird das Thier getödtet und zwar durch plötzlichen Luftabschluss mittelst vollständiger Umschnürung der Luftröhre.

Das linke Auge liefert folgenden Befund: Das eigene Lidhaar des Thieres liegt nach wie vor ohne jede Veränderung der Iris auf, die hier vollständig unversehrt erscheint. Das Haar lässt sich ganz

leicht durch die in ihrem nächsten Umkreise leicht getrübte Cornea herausbringen. Dagegen steckt die untere Wurzelhälfte des menschlichen Haares in einer Irisfalte, die sich spontan darüber gelegt hat; dieses ist durch leichten Zug nicht zu entfernen. In Bezug auf diese Stelle lehrt die spätere mikroskopische Untersuchung (ähnlich wie in Taf. VI Fig. 3) auf Querschnitten, dass nahezu um 2 Drittel der Haarwurzel eine innige Verwachsung zwischen der Wurzelscheide und der Iris sich gebildet hat. Die Epithelzellen der äusseren Wurzelscheide stellen eine 4—6 Reihen dicke Schicht dar, die nach aussen mit dem fest adhärirenden Gewebe der Iris innig verbunden ist. In, auf und unter den Zellen der Wurzelscheiden finden sich Pigmentzellen, Fortsätze von solchen und Pigmentkörner, die überall eine innige Vereinigung mit jenen und unter einander bekunden. Die Epithelien selbst haben theilweise Pigment aufgenommen. Nach innen von der Wurzelscheide liegt das Haar, das mit ihr noch ziemlich fest zusammenhängt.

Im rechten Auge liegen die auf die Iris gelegten Haare hier noch ebenso wie zu Anfang, weder die Iris noch die Haare zeigen irgend welche Veränderung. Die Flüssigkeit in der vordern Augenkammer ist vollkommen klar; die Einstichswunde an der Cornea hat sich geschlossen und ist nur mehr mit der Lupe als ein kleiner, graulich weisser Punkt zu erkennen.

5. Versuch.

Am 25. Januar wird einem kräftigen, schwarzen Kaninchen in die vordere linke Augenkammer nach Einstich in die Cornea je ein Haar des Augenlids und der Schnauze gebracht. Die Haare legen sich in einiger Entfernung von einander auf die Irisvorderfläche. Auch in das rechte Auge werden 2 Haare in derselben Weise eingelegt.

31. Januar. Leichte Reizung der Conjunctiva beider Augen, stärkere Injektion und mässige Eitersekretion. — Die Cornea ist im Umkreise der Einstichsstelle trüb. Das Kammerwasser hat sich in beiden Augen wieder neu gebildet. An der Iris ist da, wo die Haare aufliegen, eine leichte Trübung in Form einer bei Bewegung etwas flottirenden Flocke bemerkbar; dieser Befund ist an beiden Augen gleich.

7. Februar. Die conjunctivale Reizung und die Eitersekretion dauern fort; die Trübung in der Hornhaut wird beiderseits etwas mehr in die Fläche ausgebreitet gefunden; die vordere Augenkammer erscheint vollkommen klar und durchsichtig. Die auf der Iris aufliegende Partie der Haare ist durch eine trübe, nur schwach durchsichtige, membranartige Hülle verdeckt.

Am 17. Februar geht das Thier, das noch zu einem andern Versuche diente, zu Grunde. Auf der Conjunctiva palpebrarum et bulbi liegt Eiter in Flocken auf. Die Trübung der Cornea ist nicht fortgeschritten. Innerhalb der Cornea ist das Haar frei und leicht beweglich. Die vordere Augenkammer enthält klares Serum. Aber die auf der linken Iris aufliegenden Theile der Haare sind mit einer leicht abziehbaren, trüben Membran bedeckt; unter derselben liegen die Haare, ohne irgend eine Verbindung mit der Iris eingegangen zu haben. Die mikroskopische Untersuchung der flockigen Masse ergibt, dass sie aus kleinsten runden, ziemlich gleichgrossen Kügelchen besteht, die in allem den Charakter von Mikrokokken durch ihre gleichmässige Grösse, ihre Anordnung etc. tragen. Sie sind in eine durchsichtige Masse eingelagert. Derselbe Befund zeigt sich rechts, wo die Querschnitte von in Alkohol erhärteten Präparaten darthun, dass die Haare, eingebettet in diese Pilzmasse, allseitig von derselben umschlossen werden, aber nirgends eine Vereinigung mit der Iris erfahren haben. Letztere liegt vielmehr vollkommen unversehrt unter den Haaren. Die Mikrokokken gleichen den in Versuch 3 beschriebenen vollständig; eine Abbildung derselben findet sich in Fig. 3 Taf. VIII.

### 6. Versuch.

Am 26. Januar wird einem ziemlich grossen Hunde, in das linke Auge auf die bisher angegebene Weise Ein Lidhaar implantirt; seine Wurzel kommt auf die Iris zu liegen, der Schaft steht ein wenig aus der Cornea hervor; das Thier ist nachher vollkommen munter.

1. Februar. Leichte Reizung der Conjunctiva. Man sieht, wie am Wurzelende des Haares sich eine Partie Irisgewebe über dasselbe erhoben hat und es einschliesst; die vordere Augenkammer ist vollkommen hell.

7. Februar. Die Conjunctiva ist noch immer ziemlich intensiv geröthet und sondert etwas Eiter ab, der sich in kleinen Flocken am untern Augenlide und innern Augenwinkel findet. Leichte Trübung in der Umgebung der Einstichsstelle in die Cornea; in dieser ist der Haarschaft frei beweglich; die Irisbrücke um die Wurzel des Haares hat sich gegen den Pupillarrand zu vergrössert und ragt bereits wieder als ein kleiner Kegel mit seiner Spitze über denselben hervor.

15. Februar. Die Verhältnisse an der Cornea und Conjunctiva sind noch dieselben, dagegen steckt der Haarschaft innerhalb des Auges zum grossen Theil in dem von Irisgewebe gebildeten Kegel, dessen Spitze bis nahe an die Cornea reicht.

27. Februar. Das Thier wird durch Umschnürung der Luftröhre erstickt.

Am Auge zeigen sich folgende Verhältnisse: Ziemlich starke Injektion der Conjunctivagefässe, Eiterflocken im innern Augenwinkel. Eine leichte Vertiefung findet sich an der Einstichsstelle in die Cornea, deren Umgebung leicht getrübt erscheint. Der frei aus derselben hervorstehende Haarschaft ist mit ihr nirgends adhärent, dagegen ist das Haar mit der Iris so fest verbunden, dass es durch leichten Zug nicht entfernt werden kann. Die Wurzel und der Schaft innerhalb der Cornea stecken vielmehr in dem von der Iris ausgezogenen Kegel, dessen breite Basis continuirlich in das übrige Gewebe der Iris sich fortsetzt, dessen Spitze aber bereits fest und innig mit der hintern Corneafläche verwachsen erscheint; es ist somit eine vordere Synechie zu Stande gekommen. Ein Längsschnitt von diesem Präparat isint Taf. VII. Fig. 1 dargestellt. (1) bezeichnet das vordere Epithel der Cornea; (2) das eigentliche Cornealgewebe; (3) die Descemetische Membran; bei (3a) ist die Verwachsungsstelle der Cornea mit dem ausgezogenem Iriskegel gegeben, der immer breiter werdend in das Irisgewebe (6) continuirlich übergeht. Bei (7) ist das eingepflanzte Haar der Länge nach getroffen, in der Lücke bei (5) ist das Haar herausgefallen. Man sieht, eine ungeheuer pigmentzellenreiche Partie der Iris bildet den um das Haar gelagerten Kegel. Die Spitze des Kegels ragt mit seinen Fasern und Pigmentzellen ziemlich weit in das Gewebe der Cornea

hinein und verliert sich, innig mit demselben zusammenhängend, allmählig darin. Die Aussenfläche des Kegels überzieht eine deutliche Lage platter Zellen, ähnlich den die vordere Irisfläche bedeckenden platten Gebilden, die sich auch unmittelbar in die Zellen der Descemetischen Haut fortsetzen. An der Verbindungsstelle von Iris- und Corneagewebe fehlt letzterer die membrana Descemetii. An anderen Schnitten sieht man im Iriskegel hie und da Anhäufung kleiner Rundzellen. Schnitte durch die Corneawunde lehren, dass hier das Epithel an der Oberfläche eingestülpt ist (ähnlich wie auf Taf. VIII, Fig. 2), woraus die oben beschriebene Vertiefung sich erklärt. — In diesem Falle hat also das auf der vorderen Irisfläche aufliegende Haar Anlass zu einer vollständigen vorderen Synechie der Hornhaut mit der Iris gegeben; in dem dadurch von der Iris gebildeten Kegel liegt der Haarschaft und ist von ihm innig eingeschlossen.

7. Versuch.

5. Februar. Einem kleinen schwarzen Hunde werden mittelst Einstich in die Cornea in der bisherigen Weise je 2 Lidhaare mit der Wurzelscheide in beide Augen gebracht und auf die Iris geschoben. Linkerseits ist die Linse trüb.

7. Februar. Morgens wird der Hund todt gefunden. In der vorderen Augenkammer findet sich Eiter, der als eine flockige Masse zum Theil auf den Haaren sitzt. Nach seiner Hinwegnahme zeigt sich die Iris ohne jede Verbindung mit den frei auf ihr liegenden Haaren; ihre mikroskopische Untersuchung sowie die des Eiters lässt keine Besonderheiten erkennen.

8. Versuch.

6. Februar. Einem etwas älteren Hunde wird auf die Iris des linken Auges, nachdem die Cornea durchstochen und Kammerwasser abgeflossen war, ein Lidhaar gebracht, der Schaft aus der Cornea hervorstehen gelassen. In derselben Weise wird auch in das rechte Auge ein Haar implantirt.

13. Februar. Stärkere Injektion und geringe Eiterabsonderung der Conjunctiva. Beiderseits ist die ausgetretene Kammerflüssigkeit wieder ersetzt, aber während am linken Auge das Haar auf der Hinterfläche der Cornea ohne alle weitere Erscheinung festzuhaften

scheint, hat sich am rechten bereits wieder eine Verdickung der Haarwurzel bemerkbar gemacht, die zunächst wieder nur als eine Ueberbrückung von Seite der Iris erkennbar ist.

19. Februar. Die Reizung der Cornea dauert noch fort; links wird auch das Haar noch der Hinterfläche der Cornea anliegend gefunden, ohne irgend eine andere Veränderung. Rechts hat sich bereits wieder um das Haar ein Kegel von der Iris aus gebildet, dessen Spitze gegen die Cornea zu gerichtet ist.

21. Februar. Der Hund wird mittelst Injektion von Luft in die linke vena jugularis getödtet. Am linken Auge hat sich nichts geändert. Das Haar liegt der membrana Descemetii auf und ist von dieser leicht zu entfernen; eine weitere Veränderung aber findet sich nirgends. Am rechten Auge dagegen ist der den Haarschaft umgebende Iriskegel längs desselben weiter nach vorne gekommen, ohne indess mit seiner Spitze die Cornea schon zu erreichen.

Das Präparat wird in Alkohol erhärtet und dann an Querschnitten studirt. — Diese zeigen, soweit die Iris nur den Schaft umgibt, die schon aus anderen Präparaten bekannten Bilder. Ueberall liegt nämlich das Irisgewebe dem Schaft eng an. An der Oberfläche findet sich in der normalen Weise der Ueberzug glatter Zellen über die Iris. Anders ist es an der Haarwurzel, wovon Taf. VIII, Fig. 1 eine Abbildung gibt. Hier sind die Zellen der äusseren Wurzelscheide vollkommen schön und gut erhalten. Der Haarschaft (3) in der Mitte fehlt, er ist beim Schnitt herausgefallen und hat demnach keine feste Verbindung mehr mit der ihm zugehörigen Scheide. Dagegen ist das Irisgewebe (2) in innige Verbindung mit den Zellen der Wurzelscheide (1) getreten. Nicht nur liegen beide eng an einander und sind fest verbunden, ohne eine Lücke zwischen sich zu lassen; es werden auch Pigmentzellenfortsätze von solchen und Pigmentmoleküle auf, in und unter der Wurzelscheide getroffen, so dass also eine vollständige Verwachsung des Irisgewebes mit der Haarscheide zu Stande gekommen ist, deren Zellen in normaler Weise erscheinen, hie und da aber selbst Pigment aufgenommen haben. Nicht allseitig ist jedoch eine Verbindung von Iris und Wurzelscheide vorhanden. Im vorliegenden Präparate ist sie nur ungefähr an einem Drittheil vorhanden; andere

Schnitte zeigen die Verwachsung ausgedehnter — ja an Einem Präparate ist sie fast um die ganze Peripherie der Wurzelscheide zu Stande gekommen. — Wenn nun eine Proliferation von Seite der Zellen der äusseren Wurzelscheide zu Stande kommt, werden die am weitesten von der Ernährung entfernt liegenden leicht abgestossen werden können und in die Lücke fallen, die durch den ausgefallenen oder locker gewordenen Schaft entsteht. Wie so durch die mannigfachen Degenerations- (Verhornung etc.) und Wucherungsvorgänge der Epidermis Geschwülste und Neubildungen zu Stande kommen können, ist leicht ersichtlich und wie oben durch Versuch 3 bereits bestätigt.

9. Versuch.

19. Februar. Einem grossen grauen Kaninchen wird in das rechte Auge ein Lidhaar mit Wurzel und Wurzelscheide implantirt. Kammerwasser fliesst ab. Die Iris faltet sich etwas.

24. Februar. Der Haarschaft in der vorderen Augenkammer ragt nicht mehr aus der Corneaöffnung heraus. Die vormalige Wunde an der Cornea ist geschlossen und nur durch eine kaum merkliche Trübung mehr kenntlich. Die Faltung der Iris hat sich ausgeglichen; auf ihr liegt das Haar mit seiner Wurzel und einem kleinen Theil des Schaftes auf. Bereits ist wieder eine vom margo pupillaris der Iris ausgehende faltige Erhebung über die Wurzel bemerkbar.

1. März. An der Conjunctiva keine Reizerscheinungen, die punktförmige Trübung an der Hornhaut ist nur noch mit der Lupe als solche zu erkennen. Die Kammerflüssigkeit ist vollkommen klar und durchsichtig. Die ganze Wurzel ist wieder verdeckt durch über sie gezogenes Irisgewebe.

5. März. Die Iris bildet bereits wieder einen kleinen Kegel, in dem das Haar steckt, und dessen Spitze etwas längs des Haares in die vordere Augenkammer hereinragt, dessen Basis sich wieder allmählich in die Irisfläche verliert.

11. März. Das Thier wird getödtet. Das Irisgewebe, das sich um den Haarschaft in Form eines Kegels gelegt hat, ist weiter gegen die Hornhaut vorgezogen, eine Verbindung mit letzterer hat aber noch nicht stattgefunden. Nach Eröffnung der vorderen Augen-

kammer lehrt ein leichter Zug an dem frei in demselben befindlichen Schafte des Haares, dass dasselbe nicht von seiner Anheftungsstelle entfernt werden kann, sondern innig mit dem umliegenden Gewebe der Iris verbunden ist. Die mikroskopische Untersuchung an Querschnitten bestätigt diess. Aehnlich wie in Taf. VIII, Fig. 1, nur noch viel allseitiger ist die äussere Haarwurzelscheide mit dem Irisgewebe in Verbindung getreten; eine deutliche Abgrenzung der Zellen der Haarwurzel gegen die des Irisgewebes ist nicht zu ermitteln, schon weil die stark pigmentirten, verästelten Zellen des Letzteren den Einblick erschweren. Uebrigens hat das Irisgewebe den Haarschaft nicht nur allseitig umgeben und ist hier mit ihm verwachsen, sondern Pigmentzellen und Fortsätze desselben haben sich an verschiedenen Stellen in die Zellen der Haarscheide hineinerstreckt und dadurch eine noch innigere Vereinigung erzielt.

10. Versuch.

19. Februar. In die Mitte der Cornea wird bei einem schwarzen grossen Kaninchen ein Einstich gemacht, und nach Abfluss des Kammerwassers ein Lidhaar implantirt, das mit seiner Wurzel auf die Iris zu liegen kommt. Der Schaft steht aus der Corneaöffnung heraus.

27. Februar. Etwas stärkere Röthung der Conjunctiva; im nächsten Umkreise des aus der Cornea hervorstehenden Haares ist eine kleine Einsenkung bemerkbar. Die vordere Augenkammer ist mit klarer, neuersetzter Kammerflüssigkeit erfüllt. Eine Irisbrücke hat sich über das Wurzelende erhoben.

8. März. Das Kaninchen wird durch Zuschnüren der Luftröhre getödtet. — Am Auge zeigt sich die conjunctivale Reizung verschwunden. Der Bulbus wird nach Erhärtung in Alkohol in Nelkenöl zur Aufhellung der Cornea gebracht. Makroskopisch zeigt er folgende Verhältnisse: Im Centrum der Cornea ist oberflächlich eine kleine Einsenkung vorhanden, aus deren Mitte der Haarschaft hervorsteht; leiser Zug am Haarschaft vermag das Haar nicht aus der vorderen Augenkammer zu entfernen, vielmehr ist das Wurzelende fest mit der Iris verbunden, die sich beim Zuge mitbewegt. Die Iris bildet einen kegelförmigen Ueberzug über das Wurzelende des Haares; die Spitze des Kegels, in dem das Haar steckt, ragt

über die Oberfläche und den Pupillarrand der Iris hervor; die Basis verliert sich allmählig in die vordere Irisfläche, über welche die überbrückende Irispartie hügelig erhoben ist. Das Bild hat viel Aehnlichkeit mit den in Nr. 1. 3. 8. 9. beschriebenen Fällen und ist makroskopisch, aber etwas vergrössert in Fig. 2, Taf. VI dargestellt.

## 11. Versuch.

16. März. Einem grossen schwarzen Hunde werden nach durchstochener Cornea in beide Augen je Ein Haar implantirt und der Schaft nicht hervorstehen gelassen, sondern in die vordere Augenkammer vollkommen versenkt.

26. März. Die Corneawunde hat sich beiderseits geschlossen und ist nur mehr durch eine äusserst schwache Trübung, punktförmig, gekennzeichnet; das Haar im rechten Auge ist nicht sichtbar. Im linken Auge liegt das Haar auf der untern Partie der Irisvorderfläche auf und ist bereits durch eine faltige Erhebung derselben an der Wurzel verdeckt.

24. April. Die punktförmige Trübung auf der linken Hornhaut ist noch vorhanden, auch am rechten Auge ist sie noch deutlich wahrnehmbar. Das seiner ganzen Länge nach der Iris aufliegende Haar ist von dieser bereits wieder durch eine hügelige Erhebung vollkommen verdeckt und scheint nur mehr an Einer kleinen Stelle schwach durch. — (Dieser Hund sowie zwei Kaninchen, denen in jedes Auge Haare implantirt wurden, werden, da auch bei letzteren entschiedene Anwachsungen zu Stande gekommen zu sein scheinen, durch mehre Monate hindurch fortleben gelassen, das Resultat dieser Versuche also erst in späterer Zeit mitgetheilt werden können.)

## 12. Versuch.

Einem schwarzen Kaninchen wird am 16. März durch die vordere Augenkammer des rechten Auges ein eben ausgerissenes Lidhaar implantirt, der Schaft ragt aus der Cornea hervor. Die Iris ist etwas gefaltet, es gelingt aber, die Haarwurzel auf ihre Vorderfläche zu bringen.

20. März. Das ausgetretene Kammerwasser hat sich wieder ersetzt, die Faltung der Iris ausgeglichen, die Haarwurzel ist noch an derselben Stelle. Die vordere Augenkammer ist dürchsichtig, ohne jede Flocke oder Trübung. Die ziemlich geröthete Conjunctiva sondert Eiter ab. Die Einstichsstelle in die Cornea zeigt eine flache Vertiefung und in ganz geringem Grade Trübung.

28. März. Das Wurzelende des Haares ist von einer über sie gezogenen Irisparthie bedeckt, ein leiser Zug am Schaft des Haares vermag dasselbe nicht mehr aus seiner Lage zu bringen; die Flüssigkeit in der vordern Augenkammer ist klar; die leichte Trübung und Einsenkung der Cornea ist wie früher vorhanden. Die Röthung der Conjunctiva scheint etwas geringer geworden zu sein.

2. April. Die Iris hat den ganzen auf ihr liegenden Theil des Haares überwuchert, so dass dasselbe wieder in die Iris versenkt erscheint, die sich längs des Schaftes gegen die Cornea zu, aber ohne sie vorerst zu erreichen, kegelförmig ausgezogen hat. Der übrige Befund ist gleich geblieben.

5. März. Das Thier wird durch Luftabschluss mittelst Umschnürung der Luftröhre getödtet.

Befund am Auge: Die Conjunctiva ist nur mehr wenig hyperämisch. Die flache Einsenkung im Centrum der Cornea, aus deren Mitte der Haarschaft hervorragt, hebt sich als leicht getrübte Stelle gegen das übrige Corneagewebe ab. Die vordere Augenkammerflüssigkeit ist durchsichtig. Ein kleiner, spitzer Vorsprung der Iris, in dem sich das Haar befindet, ragt am innern Pupillarrande hervor. Der an der Vorderfläche der Iris aufliegende Theil ist vollkommen überdeckt durch das Irisgewebe, das an dieser Stelle wulstig über das Haar sich gelegt hat. — Die feinern Vorgänge werden an Querschnitten studirt. Es zeigt sich, dass die concave Einsenkung an der Cornea durch eine Einstülpung der Epithellage derselben (Taf. VIII, Fig. 2), wie sie wahrscheinlich durch den Stich geschah, bedingt ist.[1]) Der in der Cornea liegende Schaft des Haares hängt mit dieser nirgends fest zu-

1) Ueber die hier sowie an anderen Präparaten vorgefundene weitere Veränderung der Cornea werde ich an anderer Stelle Mittheilung machen.

sammen und ist beim Schnitte meist herausgefallen. Dagegen ist auch hier wieder eine feste Verwachsung der äussern Haarwurzelscheide zu Stande gekommen, wie aus Taf. VI, Fig. 3 ersichtlich ist. Die Zellen liegen in vollkommen normaler Anordnung nebeneinander und stellen eine ziemlich dicke Schichte um den Haarschaft dar. Dieser ist noch mit seiner Scheide (2) verbunden und auf keinem Schnitte (etwa wie in Taf. VIII, Fig. 1) herausgefallen. An die äusserste Schichte der Wurzelscheide sind drei Fortsätze herangetreten und angewachsen; ihre pigmentirten Elemente erstrecken sich manchmal auch tiefer in die Wurzelscheide hinein. Züge pigmentirten Gewebes und Pigmentklumpen, Pigmentmoleküle finden sich in und zwischen den Zellen der festgewachsenen Wurzelscheide. Die Fortsätze selbst documentiren sich als Theile des Irisgewebes, die die Verwachsung veranlasst haben. Wie im Gewebe der Iris sieht man auch hier die sie constituirenden Elemente, pigmentirte Bindegewebszellen mit oft langen Fortsätzen, nicht pigmentirtes faseriges Gewebe mit spitzen, oft mehr stäbchenartigen Kernen. Stellenweise ist ein Gefäss im Längs- oder Querschnitt zu beobachten. Die Fortsätze selber gehen ohne Unterbrechung in das anliegende Irisgewebe über. Im Ganzen scheint das Irisgewebe an dieser Stelle verdickt, etwas hypertrophisch, wenigstens sind die Pigmentzellen und das Fasergewebe hier entschieden dichter geworden. Es ist also das Haar durch Vermittelung der Epithelzellen seiner Wurzelscheide mit dem Irisgewebe wahrhaft verwachsen. Auch hier würde der Haarschaft selber vielleicht in späterer Zeit sich von der umgebenden Scheide gelockert, entfernt und eine Lücke zurückgelassen haben, die geeignet gewesen wäre, allenfallsige Wucherungsprodukte der Zellen der Wurzelscheide oder ihrer degenerirten und veränderten Elemente aufzunehmen.

Ueberblickt man die Ergebnisse, wie sie in den vorstehenden 12 Versuchen mitgetheilt sind, so ergibt sich, dass sie in mannigfacher Beziehung Interessantes und Beachtenswerthes bieten. Vor allem ist zu constatiren, dass der ganze operative Vorgang in der Regel durchweg als ein äusserst geringer Eingriff sich erwies. Denn weder von Seite der Cornea noch von der Iris ist je eine unangenehm verlaufende Reaktion eingetreten. Der Umstand, dass nur

in einem einzigen Falle ein leichter Eitererguss in die vordere Augenkammer stattgefunden hat, lässt vielmehr darin eine Ausnahme von der Regel erkennen, dass Eiterung auf sorgfältig und vorsichtig ausgeführte Implantation von Haaren nicht eintritt. Welche Ursachen die Eiterung veranlasst haben, lässt sich schwer bestimmen; möglich, dass mit dem Haare eingebrachte andere Dinge, geringere Reinlichkeit u. dergl. daran Schuld waren. Auffallend ist jedenfalls, dass in den Fällen, in denen sogar Anhäufungen grosser Mengen Mikrokokken um das Haar und auf der Iris im Verlaufe des Versuches erschienen waren, Eiterung nicht zu constatiren war. Die Beobachtung von Mikrokokken in so ausgedehnter Weise selbst ist gewiss interessant. Die oben ausgesprochene Vermuthung, dass sie von aussen durch die sicher noch genug weite Cornea-Einstichsöffnung in die vordere Augenkammer gelangt sind, hat wohl am meisten Wahrscheinlichkeit für sich. Herr Professor v. Buhl theilte mir gelegentlich dieser Beobachtung mit, dass er einmal aus der Rothmund'schen Klinik ein Auge untersucht hat, das wegen der heftigen panophthalmitischen Reaktionserscheinungen in Folge eines eingeschlagenen Zündhütchenstückchens exstirpirt werden musste. Es zeigten sich in der Umgebung des Zündhütchens zahlreiche Fäden und Sporen des bekannten Soorpilzes. Auch hiefür ist wohl nur die Einbringung von aussen denkbar.

Eine weitere interessante Thatsache liegt in dem Ergebniss, dass Haare ohne alle Reaktion sowohl auf der Hinterfläche der Cornea als vorne auf der Iris tage- und wochenlang liegen bleiben können. Ob in diesen Fällen später noch eine Abkapselung, Einschliessung u. dergl. erfolgt wäre, lässt sich nicht bestimmen. Möglich scheint nach sonstigen Erfahrungen immer, dass dies geschieht, obwohl nichts dagegen sich vorbringen lässt, dass die Haare constant so reaktionslos in der vorderen Augenkammer sich erhalten. — Die Beobachtung, dass manchmal an der Einstichsstelle der Cornea eine seichte Vertiefung sich fand, erklärte sich damit, dass durch den Stich das Corneaepithel eingestülpt war. Die Cornea selbst zeigte meist nur in nächster Umgebung des Einstichs eine äusserst geringe Trübung; der Haarschaft in ihr blieb stets beweglich.

Die Versuche lehren übrigens ferner, dass in der Regel da, wo das Haar mit seiner Wurzelscheide auf die Iris zu liegen kommt, von dieser eine Reaktion ausgeht. Als solche beobachtet man zunächst, wie die Iris um die Haarwurzel allmählig einen Ueberzug bildet, der dann längs des Haarschaftes in der Richtung gegen die Cornea sich fortzieht. Dadurch kommt der häufig beobachtete kleine Kegel zu Stande, dessen Basis mit der Fläche der Iris zusammenfällt, dessen Spitze frei über deren Oberfläche hervorragend am Haarschaft endet. Erreicht die Spitze bei längerer Dauer des Versuchs die Cornea, so kann sich dort eine vollständige vordere Synechie ausbilden. Bei der mikroskopischen Untersuchung zeigt sich dann, dass das pigmentreiche Gewebe der Iris oft ziemlich weit in die Cornea hinein sich erstreckt. Allmählig greifen die Faserzüge von Cornea und Iris ineinander und bilden ein continuirliches, faseriges Gewebe, wie es in Fig. 1 Taf. VII deutlich dargestellt ist.

Eine andere Verbindung als eine blosse Umschnürung der Iris mit dem H a a r s c h a f t ist nie zu bemerken. Dagegen tritt von Seite der die Haarwurzel umgebenden Zellen der äusseren Wurzelscheide wie es scheint leicht und gerne eine direkte Verwachsung ein. Taf. VIII Fig. 1 und Taf. VI Fig. 3 stellen diese Verhältnisse dar. Bei ersterer ist der Haarschaft herausgefallen, hat also seine Verbindung mit den umgebenden Zellen gelöst, bei letzerer ist der Querschnitt des Haarschaftes noch zu sehen. Die Verwachsung kommt dadurch zu Stande, dass sich die ästigen Zellen der Iris nicht nur eng mit den Zellen der Wurzelscheide verschmelzen, sondern auch Fortsätze in sie hinein schicken. Die vollkommen normal und gut erhaltenen Epithelien der Wurzelscheide nehmen nicht selten Pigment aus der umgebenden Iris in sich auf.

Eigentlich stellt der Querschnitt bei Taf. VIII Fig. 1 schon eine kleine Cyste dar, die von wahren Epithelzellen als Wandung begrenzt wird. Es hat keine Schwierigkeit, sich vorzustellen, dass wie normal an der Oberfläche der Haut, so auch hier die innersten Zellen nach und nach verhornen, sich abschuppen, zerfallen und die kleine Höhle, die sich dann auch entsprechend erweitert, ausfüllen. Dass aber von den Zellen aus eine Neubildung und zwar nach dem ursprünglichen Typus der Epithelien stattfinden kann, zeigt

der Versuch 3. Hier hat sich in der Zeit von $3^1/_2$ Monaten eine epitheliale Wucherung in Zapfenform ausgebildet, die zum Theil die vordere Augenkammer in der Gegend des margo ciliaris der Iris ausfüllte, zum Theil in das angrenzende Irisgewebe hinein sich erstreckt hat. An letzterer Stelle sind die Zellen theilweise noch kleiner und hie und da mit Pigmentmolekülen erfüllt. Im Allgemeinen ist der Inhalt der Zellen, wie ihrer schönen grossen Kerne, fein granulirt, das umliegende Gewebe hat sich hiebei verdickt.

Resumiren wir nun zum Schlusse kurz die Resultate beider Versuchsreihen, so finden wir, dass die Eingangs gestellten Fragen in genügender Weise beantwortet wurden. Denn es ist gezeigt worden, dass Haare, denen an der Wurzel Zellenschichten der äusseren Wurzelscheide noch anhaften, auf frische Granulationen gebracht, anheilen können, und dass von dieser Stelle aus leicht eine Ueberhäutung zu Stande kommt, ähnlich wie sie nach Hauttransplantation geschieht. Es ist ferner aus der 2. Versuchsreihe hervorgegangen, dass solche Haarwurzelscheiden mit der Iris direkt verwachsen, beziehungsweise anheilen können, sowie dass nach ihrem ursprünglichen Typus von diesen Zellen aus eine selbständige Wucherung entsteht. Immerhin sind die Resultate dieser Versuche interessant genug, um nicht nur weiter fortgeführt, sondern in mannigfachen Aenderungen variirt zu werden, denn es scheint in der That, dass die vordere Augenkammer sich zu experimentellen Untersuchungen verschiedener Art in ganz ausgezeichneter Weise eignet.

---

# Beschreibung der Zeichnungen.

## Tafel VI.

1ª. **Ausgerissenes Haar vom Menschen mit Wurzel und Wurzelscheiden.**
   1) Haarschaft,
   2) Innere Wurzelscheide,
   3) Zellen der äusseren Wurzelscheide,
   4) feinfaserige Beschaffenheit der Haarrinde an der Wurzel,
   5) Zellen um den Haarknopf,
   6) Haarknopf,
   7) Pigmentirte Haarknopfzellen.

1ᵇ. **Ausgerissenes Haar vom Kaninchen.**
   Bezeichnung der Zahlen, soweit sie vorhanden, wie bei 1ª.

2. **Ganzes Auge vom Versuche 10,** nach Einpflanzung eines Haares; der Schaft steht aus der Cornea hervor; man sieht den Kegel, der sich von der Iris aus um das Haar gebildet und um den Harrschaft herum frei mit seiner Spitze in die vordere Augenkammer sich erhoben hat.

3. **Querschnitt des Haares von Versuch 12.**
   1) Haarschaft,
   2) Zellen der äusseren Wurzelscheide, zum Theil pigmentirt, pigmentirte Iriszellen und Faserzüge liegen in und auf ihnen,
   3) Fortsätze, die sich von der Iris um die Haarscheide lagern (verwachsen sind) und in diese eindringen.

## Tafel VII.

1. **Längsschnitt durch das Auge von Vers. 6.**
   1) Epithel der Conjunctiva,
   2) Cornea,
   3) Membrana Descemetii,
   3ª) Verwachsungstelle der Iris mit der Cornea,

5) Lücke, aus der der Haarschaft herausgefallen ist, umgeben von verdicktem, stark pigmentirtem Irisgewebe (Iriskegel),
6) Iris,
7) Ueberzug der Iris mit glatten Endothelzellen,
8) Ein Theil des Haares, umgeben von Irisgewebe.

2 **Querschnitt von Vers. 3.**

1) Ciliarfortsätze mit dem sie bekleidenden Epithel,
2) Irisgewebe,
3) Corneagewebe,
4) Corneaepithel,
5) Vordere Augenkammer,
6) Neugebildete Epithelzapfen in derselben, in die Iris übergehend und hier zum Theil pigmentirt und etwas kleiner.

## Tafel VIII.

1. **Querschnitt vom Versuch 8.**

1) Zellen der äusseren Haarwurzelscheide; an der rechten Seite verwachsen
2) mit dem Irisgewebe, das Zellen und Fortsätze in diese hineinschickt,
3) Lücke, aus der der Haarschaft herausgefallen ist.

2) **Die Einstülpung**, wie sie in Vers. 12 beschrieben ist, stärker vergrössert. Man sieht bei 1) die eingestülpten Epithelien der Conjunctiva, bei 2) ist das durchgesteckte Haar getroffen.

3) **Querschnitt durch das Haar von Vers. 5.** Der Schaft ist umgeben von einer dichten Menge Mikrokokken, die um den Schaft am stärksten angehäuft erscheinen. (Die Mikrokokken sind etwas zu gross gezeichnet).

# Ueber den Kohlensäuregehalt der Luft in der libyschen Wüste über und unter der Bodenoberfläche.

Von

**Max v. Pettenkofer.**

Als College Dr. Zittel sich zu der von Dr. Rohlfs unternommenen und von dem Vicekönig Ismail von Aegypten unterstützten Reiseexpedition in die libysche Wüste ausrüstete, entschloss er sich auch zur Sammlung einiger Luftproben in der Wüste, um sie nach München zurückzubringen, und da auf ihren Kohlensäuregehalt untersuchen zu lassen. Meines Wissens ist bisher wohl der Kohlensäuregehalt der freien Atmosphäre, namentlich auch in Niederungen, auf hohen Bergen und über der Meeresfläche, sowie der Luft in unseren Wohnungen, aber noch nie in einer Sandwüste bestimmt worden, jedenfalls ist noch nie die Kohlensäure bestimmt worden, welche sich in der Luft unter der Oberfläche der Wüste, im Boden derselben befindet. Da in neuester Zeit regelmässig fortlaufende Bestimmungen in der Grundluft von München und Dresden gemacht werden, und diese Untersuchungen unerwartet grosse Mengen Kohlensäure zu Tage gefördert haben, selbst in sterilem Geröll- und Sandboden, welcher eine nur wenige Zoll hohe vegetirende Schichte auf sich trägt, so schien es mir von besonderem Interesse zu sein, auch einmal die Grundluft einer nahezu ganz vegetationslosen Fläche auf Kohlensäure zu prüfen. Das Resultat konnte zur Entscheidung der Frage über den Ursprung der Kohlensäure in unserer Grundluft beitragen, die am wahrscheinlichsten von organischen Stoffen stammt, welche mit dem Regen von der Oberfläche in die Tiefe geführt werden und dort allmählig verwesen, während die daraus entstehende Kohlensäure nach dem

Gesetze der Diffusion und Ventilation fortwährend aus dem Boden in die freie Atmosphäre entweicht, soweit sie nicht von den verschiedenen Pflanzenorganen in und über dem Boden zu organischen Neubildungen verwendet wird.

Wenn diese Vorstellung eine richtige ist, so durfte sich die Grundluft der Wüste in ihrem Kohlensäuregehalte nicht wesentlich von der darüber befindlichen atmosphärischen Luft unterscheiden.

Da die Bestimmung der Kohlensäure in der Luft bis zum Grade grosser Genauigkeit entwickelt und leicht auszuführen ist, so bestand die einzige Schwierigkeit, welche zu überwinden war, nur darin, aus der Wüste soviel Luft und Grundluft nach München zu bringen, dass damit Bestimmungen der Kohlensäure vorgenommen werden konnten. Es wurden dazu Glasröhren gewählt, welche etwa 5 Centimeter Durchmesser und 50 Centimeter Länge hatten, und an beiden Enden in viel engere Glasröhren von einigen Millimetern Durchmesser übergingen. Die dünnen, aus leicht schmelzbarem Glase bestehenden Endröhren waren offen. Diese Röhren konnten daher leicht von irgend einer Luft vollgesogen, und dann an beiden Enden mit einer Spirituslampe abgeschmolzen werden. Sie sollten etwa 1 Liter Luft fassen, was allerdings für eine genauere Untersuchung etwas wenig war, aber bei der Empfindlichkeit der Methode doch noch für genügend angesehen werden konnte. Röhren von weiterem Durchmesser waren in der Schnelligkeit nicht aufzutreiben, und sie viel länger zu nehmen, hätte für den Transport und die Handhabung zu grosse Schwierigkeiten gemacht.

Zittel hat an zwei Stationen in der Wüste in Farafreh und in Dachel solche Röhren mit Luft gefüllt, die dünnen Röhren abgeschmolzen, und unversehrt von seiner Expedition im Mai 1874 mit nach München zurückgebracht. Ich fand leider erst im November Zeit, an die Untersuchung zu gehen.

Das Verfahren der Untersuchung war Folgendes: Die Röhre mit Luft wurde in einem Stativ senkrecht gestellt. Ueber die nach oben sehende abgeschmolzene enge Glasröhre wurde ein kurzes, enges, dickes Kautschukrohr mit einem T-Rohr aus Glas gesteckt. Ein Ende des horizontalen Theiles des T-Rohres wurde mit einem Quecksilbermanometer, das entgegengesetzte mit einer Absorptions-

röhre in Verbindung gesetzt, in welcher sich 90 Kubikcentimeter Barytwasser befanden, welches so viel Aetzbaryt enthielt, dass 30 Kubikcentimeter von 25.25 Kubikcentimeter einer Oxalsäurelösung gesättigt wurden, von welcher 1 Kubikcentimeter stets 1 Milligramm Kohlensäure äquivalent ist. Durch Quetschhähne konnte sowohl gegen das Manometer hin, als gegen die Barytlösung hin abgesperrt werden.

Das untere Ende der Röhre wurde in ein enges, längeres Kautschukrohr gesteckt, dessen anderes Ende mit einem grossen Trichter verbunden war, welcher eine Flüssigkeit enthielt, mit der die Luft aus der Röhre in das Barytwasser getrieben werden sollte. Dieser Trichter war so hoch über der die Luft enthaltenden Röhre gestellt, dass das Gefälle hinreichte, alle Luft auszutreiben. — Auch diese Röhre war mit Quetschhahn versehen.

Als Flüssigkeit zum Austreiben der Luft war eine bei 20° C. gesättigte Lösung von neutralem Chlorcalcium gewählt.

Zuerst wurde oben das T-Rohr aufgesetzt, mit dem Manometer und der Barytröhre verbunden, und die Leitungen nach beiden Seiten hin durch die beiden Quetschhähne wieder abgeschlossen. Dann wurde das aus dem hochstehenden Trichter kommende Kautschukrohr, nachdem es ganz mit Flüssigkeit gefüllt und von Luft freigemacht war, über die untere abgeschmolzene Glasröhre geschoben und auch der an ihm befindliche Quetschhahn geschlossen.

Nun wurde zum Oeffnen der die Luft enthaltenden Röhre geschritten, und zwar zuerst an ihrem oberen Ende. Mittels einer Kneipzange wurde die abgeschmolzene Spitze in dem dicken Kautschukrohre, welches das obere Glasrohr luftdicht umschloss, abgebrochen und dann der Quetschhahn nach dem Manometer hin geöffnet. Es zeigte sich nun, unter welchem Druck die in der Glasröhre eingeschmolzene Wüstenluft stand. Da die beiden Stationen, wo die Röhren gefüllt wurden, viel niedriger liegen als München, so ergab sich bei allen Röhren ein beträchtlicher Ueberdruck über den Druck der Atmosphäre in München. Das war zugleich ein sicherer Beweis, dass alle Röhren vollkommen luftdicht verschlossen hieher gekommen waren. Der am Manometer abgelesene Druck wurde zum jeweiligen Barometerstande addirt, wie er sich zur Zeit

der Untersuchung in München ergab. Man darf selbstverständlich nicht erwarten, dass der Druck am Manometer und der Druck des Barometers in München addirt in allen Fällen der genaue Ausdruck des Barometerstandes sein müsste, unter welchem die Röhre in der Wüste gefüllt wurde, denn es kommt nebenbei auch auf die Temperatur an, welche die Röhre und die Luft in ihr während der Manipulation des Füllens und des Zuschmelzens angenommen hatte.

Nachdem das Manometer und die Temperatur der Röhre abgelesen war, wurde der Quetschhahn gegen das Manometer hin wieder geschlossen, und dafür der nach der Barytröhre hin geöffnet. Entsprechend dem Ueberdrucke des Manometers über den Barometerdruck trat sofort ein Theil der Luft durch das Barytwasser.

Als keine Luftblase mehr weiter im Barytwasser aufstieg, wurde nun das untere Ende der Röhre ebenso durch Abbrechen der Spitze im Kautschukrohre geöffnet, um die Chlorcalciumlösung eintreten zu lassen und alle Luft aus der Röhre zu verdrängen. Als auch die untere Spitze abgebrochen war, wurde der Quetschhahn an dem zum Trichter mit Chlorcalciumlösung führenden Kautschukrohre geöffnet, und in Zeit von etwa 15 Minuten alle Luft aus der Röhre durch das Barytwasser in kleinen sich regelmässig folgenden Blasen getrieben. —

Nachdem das Barytwasser abgenommen war, liess man aus der Röhre die Chlorcalciumlösung in einen Messcylinder auslaufen, und bestimmte dadurch zugleich das Volumen der Röhre und damit auch das Volum der untersuchten Luft.

Unter Ausserachtlassung der Tension des Wasserdampfes in der Luft und unter Berücksichtigung der beobachteten Druck- und Temperaturverhältnisse der auf diese Art gemessenen Luftmenge, wurde mit Hilfe der Bunsen'schen Tafeln das Volumen auf 0° und 760 Millimeter Barometerdruck berechnet.

Das Barytwasser, durch welches die Luft gegangen war, wurde auf gewöhnliche Weise titrirt, daraus das Gewicht der absorbirten Kohlensäure erfahren und auf Volumen bei 0° und 760 Millimeter Barometerdruck berechnet.

**Bestimmungen mit Wüsten-Luft.**

I.

Farafreh. Atmosphärische Luft.

Manometer 33 Millimeter.

Barometer 705 „

738 „

Temperatur 20.8° Cels.

Luftvolum 0.945 Liter = 0.848 Liter bei 0° und 760 Mllm. Barometerdruck. 30 Kubikcentim. Barytwasser erforderten zur Neutralisation Oxalsäure

vor dem Versuche 25.25 cc.

nach „ „ 25.0

Differenz 0.25

90 Kubikcent. Barytwasser hatten 0.75 Mllgr. $CO_2$ = 0.381 Kubikcentm. absorbirt.

In 10000 Volumtheilen Luft sind 4.47 Volumtheile Kohlensäure.

II.

Farafreh. Grundluft im Wüstenboden aus einer Tiefe von 1/2 Meter.

Manometer 10 Millimeter.

Barometer 707 „

717

Temperatur 18.2° Cels.

Luftvolum 0.740 Liter = 0.640 Liter bei 0° und 760 Mllm. Barometer. 30 Kubikcentim. Barytwasser

vor dem Versuche = 25.25 cc. Oxalsäure

nach „ „ 24.95 „

Differenz 0.30 „

90 Kubikcentim. Barytwasser hatten 0.9 Mllgr. $CO_2$ = 0.508 Kubikcentim. absorbirt.

In 10000 Volumtheilen Grundluft sind 7.93 Volumtheile Kohlensäure.

Die Röhre war bei dieser und den übrigen Luftproben mit Grundluft von Zittel auf folgende Art gefüllt worden:

Eine eiserne Röhre mit Stahlspitze, wie sie zur Anlage soge-

nannter amerikanischer Brunnen mitgeführt wurden, wurde in den Boden gerammt, dann bei einer bestimmten Tiefe angelangt, deren obere Oeffnung mit einem Kautschukpfropfe geschlossen, welcher in einem Bohrloche eine luftdicht eingepasste, rechtwinklig gebogene Glasröhre hatte. Mit dem Munde wurde dann am Glasrohr so lange gesogen, bis man sicher sein konnte, die in der Röhre enthaltene Luft mehrmals ausgesogen und mit Luft aus dem Boden gefüllt zu haben. Nun wurde die Röhre für die zur Untersuchung bestimmte Luft mittels eines kurzen Kautschukschlauches damit verbunden, und die Grundluft längere Zeit durchgesogen, bis man erwarten konnte, alle darin vorhandene Luft mit Grundluft ersetzt zu haben. Schliesslich wurde mit einer Spirituslampe an beiden Enden abgeschmolzen. — Professor Zittel erfreute sich bei allen derartigen Füllungen der sorgsamen Assistenz des Herrn Philipp Reméle, des Photographen der Expedition.

Prof. Zittel hat mir nachträglich mitgetheilt, dass das Füllen und Abschmelzen der Röhren fast immer leicht von Statten ging, mit Ausnahme des Versuches II. Hier aber hätte schon der sehr compakte Boden beim Einrammen der eisernen Röhre sehr grosse Schwierigkeiten geboten, und sei auch das Durchsaugen der Luft nur mit einer gewissen Anstrengung möglich gewesen, so dass er schon in Farafreh befürchtet habe, dass gerade das Resultat dieses Versuches kein ganz reines sein könnte. Sehr leicht und regelmässig hingegen sei Alles bei den folgenden Füllungen vor sich gegangen.

III.

Farafreh. Grundluft aus einem Palmengarten, 1 Meter tief unter der Oberfläche.

Manometer 44 Millimeter.
Barometer 705 „
749 „

Temperatur 20.3° Cels.

Luftvolum 0.820 Liter = 0.748 Liter bei 0° und 760 Mllm. Barometer. 30 Kubikcentim. Barytwasser

| | | | |
|---|---|---|---|
| vor dem Versuche | = | 25.25 cc. | Oxalsäure |
| nach „ „ | | 23.7 | „ |
| | Differenz | 1.55 | „ |

90 Kubikcentim. Barytwasser hatten 4.65 Mllgr. $CO_2$ = 2.365 Kubikcentim. absorbirt.

In 10000 Volumthl. Grundluft sind 31.52 Volumthl. $CO_2$.

IV.

Dachel. Atmosphärische Luft.

Manometer 30 Millimeter.

Barometer 702 „

732 „

Temperatur 18.2° C.

Luftvolum 0.860 Liter = 0.771 Liter bei 0° und 760 Mllm. Barometer. 30 Kubikcentim. Barytwasser

vor dem Versuche = 25.25 cc. Oxalsäure

nach „ „ 25.0 „

Differenz 0.25 „

90 Kubikcentim. Barytwasser hatten 0.75 Mllgr. $CO_2$ absorbirt = 0.381 Kubikcentim. $CO_2$.

In 10000 Volumtheilen Luft sind 4.94 Volumtheile Kohlensäure.

V.

Dachel. Atmosphärische Luft. (Diese Röhre war innen nicht ganz rein. Zittel.)

Manometer 30 Millimeter.

Barometer 705 „

735 „

Temperatur 20.4° C.

Luftvolum 0.900 Liter = 0.805 Liter bei 0° und 760 Mllm. Barometer. 30 Kubikcentim. Barytwasser

vor dem Versuche = 25.25 cc. Oxalsäure

nach „ „ 25.0 „

Differenz 0.25 „

90 Kubikcentim. Barytwasser hatten 0.75 Mllgr. $CO_2$ absorbirt = 0.381 Kubikcentim. $CO_2$.

In 10000 Volumtheilen Luft 4.73 Volumtheile Kohlensäure.

VI.

Dachel. Grundluft in Sand und Thon aus einer Tiefe von 1 Meter.

Manometer 30 Millimeter.
Barometer 705 „
735 „
Temperatur 20.5° C.

Luftvolum 0.970 Liter = 0.868 Liter bei 0° und 760 Mllm. Barometer. 30 Kubikcentim. Barytwasser

vor dem Versuche = 25.25 cc. Oxalsäure
nach „ „ 25.10 „
Differenz 0.15 „

90 Kubikcentim. Barytwasser hatten 0.45 Mllgr. Kohlensäure absorbirt = 0.229 Kubikcentim. Kohlensäure.

In 10000 Volumtheilen Grundluft 2.64 Volumtheile Kohlensäure.

VII.

Dachel. Grundluft in Sand und Thon aus einer Tiefe von 1¼ Meter.

Manometer 33 Millimeter.
Barometer 705 „
738 „
Temperatur 20.7° C.
Luftvolum 1.028 Liter.

Dieser Versuch ist leider verunglückt, weil wegen mangelhaften Schlusses des Quetschhahnes an dem Kautschukschlauche, welcher die Chlorcalciumlösung vom Trichter in die Röhre führte, diese Lösung theilweise bis in die Barytlösung geführt und deren Titrirung nach dem Versuche nicht mehr vorgenommen werden konnte, da sie resultatlos gewesen wäre.

VIII.

Dachel. Grundluft in Sand und Thon aus einer Tiefe von 1½ Meter.

Manometer 33 Millimeter.
Barometer 705 „
738 „
Temperatur 20.7° C.

Luftvolum 1.012 Liter = 0.927 Liter bei 0° und 760 Mllm. Barometer. 30 Kubikcentim. Barytwasser

vor dem Versuche = 25.25 cc. Oxalsäure
nach " " 25.0 "
Differenz 0.25 "

90 Kubikcentim. Barytwasser hatten 0.75 Mllgr. $CO_2$ absorbirt = 0.381 Kubikcentim. $CO_2$.

In 10000 Volumtheilen Grundluft sind 4.10 Volumtheile Kohlensäure.

Der leichteren Uebersicht wegen stelle ich die Resultate der 8 Untersuchungen zusammen:

**Kohlensäuregehalt der Luft in der Wüste in 10000 Volumtheilen.**

| Farafreh Atmosphärische Luft | Farafreh Grundluft $^1/_2$ M. tief. Compakter Wüstenboden | Farafreh Grundluft 1 M. tief. Palmgarten | Dachel Atmosphärische Luft |
|---|---|---|---|
| 4.47 | 7.93 | 31.52 | 4.94 |

| Dachel Atmosphärische Luft | Dachel Grundluft 1 M. tief. Sand und Thon | Dachel Grundluft $1^1/_4$ M. tief. Sand und Thon | Dachel Grundluft $1^1/_2$ M. tief. Sand und Thon |
|---|---|---|---|
| 4.73 | 2.64 | ? | 4.10 |

Aus diesen Resultaten geht mit Bestimmtheit hervor, dass der Kohlensäuregehalt der atmosphärischen Luft in der Wüste kein anderer ist, wie bei uns in Thälern und auf hohen Bergen, wo er zwischen $2^1/_2$ und 5 Zehntausendtheilen schwankt.

Mit gleicher Bestimmtheit geht daraus auch hervor, dass der Kohlensäuregehalt der Grundluft im vegetationslosen Wüstenboden wesentlich kein anderer ist, als der der darüber hinziehenden atmosphärischen Luft, er erreicht in keinem Falle 1 pro mille, ja er ist

in zwei Fällen sogar unter dem der atmosphärischen Luft, und der Versuch II, welcher die höchste Ziffer ergeben hat, ist nach Zittel's Angabe nicht ganz verlässig.

Nur der vegetirende Boden in einem Palmengarten bei Farafreh zeigt einen erhöhten Gehalt an Kohlensäure in der Grundluft, und zwar gleich in einem Maasse, 31.5 Zehntausendtheile, dass darüber kein Zweifel bestehen kann, weil das Resultat die Fehlergrenzen der angewandten Methode weit überschreitet.

Dieser grosse Unterschied zwischen der Grundluft im Palmengarten, und der Grundluft im Wüstenboden und in der atmosphärischen Luft hat sich bei den Untersuchungen auch dadurch ganz augenscheinlich kundgegeben, dass das vorgelegte Barytwasser sich nur bei Untersuchung der Grundluft aus dem Palmengarten sichtlich getrübt und eine merkliche Menge Niederschlag von kohlensaurem Baryt abgesetzt hat. Bei allen übrigen Proben blieb das Barytwasser fast klar und zeigte auch nach längerem Stehen nur eine Spur Niederschlag.

Dieser Umstand lässt mich daher sicher behaupten, dass auch die verunglückte Analyse VII der Grundluft von Dachel dasselbe Resultat ergeben hätte, wie die beiden andern Proben von dorther, denn auch da zeigte sich vom Anfang bis zum Ende des Versuches keine merkliche Trübung des Barytwassers, was der Fall hätte sein müssen, wenn diese Luft wesentlich mehr Kohlensäure enthalten hätte.

Zu einem erhöhten Kohlensäuregehalt der Grundluft in gewöhnlichem Boden, in welchen nicht etwa vulkanische oder mineralische Quellen von Kohlensäure ausmünden, gehören also jedenfalls organische Substanzen und Wasser, welches dieselben in den Boden hinabführt.

Schliesslich war mir noch daran gelegen, auch dafür einen Anhaltspunkt zu gewinnen, wie gross etwa der Fehler sein könnte, den meine immerhin nicht ganz vollkommene und tadellose Untersuchungsweise verursacht haben könnte. Zu diesem Zwecke füllte ich eine der von Zittel schon benützten und von mir untersuchten Röhren am 21. November 1874 mit atmosphärischer Luft von München im Freien, schmolz die Enden der Röhren ab, und

bestimmte den Kohlensäuregehalt der darin eingeschlossenen Luft ganz in derselben Weise, wie ich es mit den von **Zittel** aus der Wüste mitgebrachten Luftproben gethan hatte.

Gleichzeitig aber wurde eine Bestimmung der Kohlensäure in der atmosphärischen Luft auf gewöhnliche regelrechte Weise in einer 4 Liter haltenden Flasche vorgenommen.

Das Resultat war folgendes;

a) Bestimmung der Kohlensäure der Luft in der Röhre.

Manometer 2 Millimeter minus.
Barometer 712 „
710 „ .

Temperatur 21.2° C.

Luftvolum der Röhre 0.950 Liter = 0.818 Liter bei 0° und 760 Mllm. Barometer. 30 Kubikcentim. Barytwasser

vor dem Versuche = 25.25 cc. Oxalsäure
nach „ „ 25.0 „
Differenz 0.25 „

90 Kubikcentim. Barytwasser hatten 0.75 Mllgr. $CO_2$ = 0.318 Kubikcentim. absorbirt.

In 10000 Volumtheilen Luft 4.65 Volumtheile Kohlensäure.

b) Die regelrechte Bestimmung ergab 3.79 Volumtheile $CO_2$ auf 10000 Theile Luft.

Die Uebereinstimmung der beiden Versuche und damit die Genauigkeit des von mir angewandten Verfahrens ist hinreichend, um die aus den Resultaten der Untersuchung gezogenen Schlüsse als gerechtfertigt erscheinen zu lassen.

# Untersuchungen über den Zusammenhang der Luft in Boden und Wohnung.

Von

Dr. J. Forster,

Privatdozent.

Während in früherer Zeit die Ursache des epidemischen Auftretens gewisser Krankheiten nur gelegentlich auch im Boden gesucht wurde, hat v. Pettenkofer durch seine Untersuchungen, die von v. Buhl und Seidel durch Beobachtung und Rechnung bestätigt wurden, dargethan, dass eine bestimmte Beschaffenheit des bewohnten Untergrundes, ein gewisses zeitiges Verhalten der Lokalität, als eine unerlässliche Bedingung für das epidemische Auftreten von zwei Seuchen, Cholera und Typhus, denen sich auch noch andere anreihen dürften, erscheine. In eingehenden beobachteten Epidemieen der erwähnten Krankheiten zeigte sich der Ausbruch und Verlauf derselben gebunden an einen in gewissen Grenzen sich haltenden Luft- und Feuchtigkeitsgehalt des bewohnten Bodens, dem als begünstigende Momente gewisse Temperaturgrenzen und die Durchtränkung mit Fäulniss fähigen organischen Substanzen sich zugesellen, während ein sehr fester nur in geringem Grade lufthaltiger, ausgetrockneter oder völlig mit Wasser durchtränkter Boden für die epidemische Verbreitung jener Krankheiten sich ungünstig erwies.

Mit dieser Erkenntniss eröffnete sich der Forschung über die näheren, bisher so dunkeln Ursachen von Epidemieen, ein Gebiet, das in methodischer Weise zu bearbeiten ist. Erfahrungsgemäss sind jene Verhältnisse, die der Boden unter unseren Füssen zu Zeiten von häufigen Typhus- oder Choleraerkrankungen darbietet, ähnlich denen, bei welchen organische Zerfalls- und Bildungspro-

zesse leicht verlaufen. Man musste daher daran denken, dass es organische Prozesse im Boden wären, die in bestimmtem Zusammenhange mit den beobachteten Epidemieen stünden, dass diese ein Produkt lieferten, ohne dessen Anwesenheit wohl Einzelerkrankungen, jedoch keine epidemische Verbreitung jener Krankheiten an einem Orte ermöglicht wären.

Diese mit Nothwendigkeit sich ergebenden Schlüsse haben bekanntlich dazu geführt, die Intensität jener Prozesse im Boden zu verschiedenen Zeiten zu messen, wobei als Maass die in die Bodenluft übergehende Kohlensäure, welche als Endprodukt aller organischen Zersetzungen auftritt, benützt wurde.

Wenn nun der Untergrund ein allerdings unbekanntes Produkt liefert, das als wesentliche Mitbedingung bei epidemischen Erkrankungen wirksam ist, so muss dieses auch auf irgend eine Weise mit den Menschen, die die Oberfläche bewohnen und hier erkranken, in Berührung kommen. Als Vermittlungswege erscheinen hier natürlich zunächst Wasser und Luft, durch welche wir mit dem Boden verkehren hönnen. Dass das Wasser als solcher Vermittler diene, ist nach den überzeugenden Darlegungen v. Pettenkofer's[1]) mehr als unwahrscheinlich. Es kann sich daher wesentlich nur um die Frage handeln, ob und wie die Luft den Verkehr zwischen den Bodenschichten und der bewohnten Oberfläche vermittelt.

In der That sprechen nun eine Anzahl von Erfahrungen und Beobachtungen dafür, dass die Luft in den Wohnhäusern, die ja hier wohl hauptsächlich in Betracht kommt, mit der Bodenluft in gewisser Wechselbeziehung steht, so insbesondere verschiedene Fälle von Leuchtgasvergiftungen in Wohnhäusern bei Undichtigkeiten der Gasröhrenleitungen in dem Strassengrunde[2]).

---

1) Zeitschr. f. Biol., Bd. X, S. 439 u. ff.

2) v. Pettenkofer, Beziehungen der Luft zu Kleidung, Wohnung und Boden, 1872, S. 87 u. ff.

In solchen Fällen jedoch, die fast ausschliesslich in der kalten Jahreszeit sich ereigneten, ist für das Eintreten der mit Leuchtgas verunreinigten Bodenluft in die Wohnräume in der Heizung der letzteren, welche eine Druckdifferenz zwischen der kalten Luft unter der Strasse und der warmen Luft des Wohnraumes bewirkt, eine leicht erkennbare Ursache vorhanden. Es frägt sich aber: Findet thatsächlich auch dann, wenn keine grösseren Temperaturdifferenzen als Motor der Bodenluft wirksam sind oder nicht stetig Gase nachdringen, wie dies bei undichten Leitungen geschieht, findet in Wirklichkeit auch hier ein Verkehr zwischen der Luft in Boden und Wohnung statt, den wir nach dem Zusammenhange gewisser Epidemieen mit der lokalen und zeitlichen Beschaffenheit als vorhanden annehmen müssen?

In einem Weinkeller, dessen Temperatur das Jahr hindurch der Temperatur des umgebenden Bodens folgend nur in geringem Grade von den Temperaturschwankungen der atmosphärischen Luft beeinflusst wird, kann man die Kellerluft als einen Bruchtheil der umgebenden Grundluft betrachten. Ist man nun im Stande nachzuweisen, dass von einem so beschaffenen Keller aus Luftströmungen in die einzelnen Wohnräume eines Hauses in verschiedenen Höhen desselben unabhängig von grösseren Temperaturdifferenzen zwischen oben und unten existiren, so dürfte damit auch der Verkehr der Bodenluft mit der Luft, die wir in unseren Wohnungen einathmen, bewiesen sein.

Während der Zeit der Weingährung nun, bei welcher grössere Mengen von Kohlensäure in einem solchen Keller erzeugt werden, kann das hiebei gebildete Gas als Index für den vermutheten beständigen Verkehr benützt werden. Findet dieser wirklich statt, so muss sich unter sonst gleichen Verhältnissen in dieser Zeit mehr Kohlensäure in der Luft der Wohnräume nachweisen lassen, wobei natürlich andere Kohlensäurequellen, wie der Aufenthalt von Menschen u. dgl. in den betreffenden Räumen zu eliminiren sind. Es muss ferner die Menge der Kohlensäure in der Luft der unbewohnten Wohnräume über den Gährkellern innerhalb gewisser Grenzen conform mit dem Kohlensäuregehalte der Kellerluft sein, und es muss

endlich, wenn man die Bedingungen des natürlichen Luftwechsels in Wohnungen etwa durch Schaffung einer erhöhten Temperaturdifferenz, durch Heizung einzelner Räume günstiger stellt, und hiebei wirklich die Keller- oder Bodenluft in grösserem Maasse in die Wohnräume gelangt, eine Vermehrung des Kohlensäuregehaltes in der letztern zu konstatiren sein.

Ich habe nun während eines absichtlich gewählten kurzen Ferienaufenthaltes an den Ufern des Bodensee's im Herbste 1872 in meinem Elternhause einige Untersuchungen zu dem erwähnten Zwecke angestellt. Das betreffende Haus, ein Hochparterre und 2 darüberliegende Stockwerke in sich schliessend, befindet sich in einem mitten in Weinbergen nahe an den rasch abfallenden Ufern des See's reizend gelegenen Dörfchen und ist nach allen Seiten hin frei gebaut und theils durch die Dorfstrasse, theils durch Hofräume von den umliegenden Stallungen u. dgl. geschieden; nur an der nördlichen Front des Hauses befindet sich ein kleiner, ein Stockwerk hoher Anbau, in welchem die Wagen nebst Zubehör, Holzvorräthe und Aehnliches aufbewahrt werden und in welchem sich der Zugang zur Treppe in den nur unter dem eigentlichen Wohnhause gelegenen grossen Weinkeller findet. Von diesem Seitenbaue führen grosse Flügelthüren direkt nach aussen zur Strasse, während die Verbindung mit dem Gange des Wohnhauses nur durch eine enge Thüre hergestellt ist, die die nördliche Mauer des Hauses durchbricht. Der Kellereingang befindet sich demnach ausserhalb der Grundmauern des Hauses und ist also ein unmittelbares Eindringen der Kellerluft in das Haus durch die Kellerthüren nicht möglich. Der Keller selbst ist von den über ihm liegenden Räumen nicht durch ein gemauertes Gewölbe, sondern durch ein von Säulen getragenes Balkenwerk mit dichtem, sog. Fehlboden geschieden.

Das grösste der in dem Keller gelagerten grossen Weinfässer, deren Inhalt im Durchschnitte von 100 zu 120 Hektoliter beträgt, wurde in besagtem Herbste auf meinen Wunsch rasch mit Traubenmost von etwa 15—18% Zuckergehalt (74—76 Grade der Oechsle'schen Mostwage) gefüllt, welcher hier die Alkoholgährung einzugehen hatte. Im Verlaufe derselben mussten 100 Hektoliter des Mostes,

bei 17% Traubenzucker, etwa 750 Kilogramm,[1] oder bei einer mittleren Keller-Temperatur von 14° C. etwa 400 Kubikmeter Kohlensäure entwickeln.

Da bei günstiger Temperatur der grösste Theil des Zuckers im Traubenmoste nach wenigen Tagen vergohren ist, so musste der Kohlensäuregehalt der Luft des Kellers, dessen Rauminhalt etwa 560 Kubikmeter beträgt, aller Voraussicht nach erheblich genug werden, zumal während der Hauptgährung die Thüren und meisten Fensteröffnungen des Kellers sorgfältig geschlossen gehalten wurden.

Sobald nun die Gährung in bemerkbarer Weise begonnen hatte, wurden im Keller sowohl, als in verschiedenen Räumen des Hauses Bestimmungen des Kohlensäuregehaltes der Luft von mir ausgeführt[2]. Diese geschahen genau nach der von Pettenkofer[3] angegebenen Methode, zu deren Ausführung ich sämmtliche Apparate, abgewogene Mengen von Oxalsäure, sowie Aetzbaryt u. dgl. aus dem physiologischen Laboratorium von München mit mir genommen hatte. Wegen der Beschränktheit meines Vorrathes von destillirtem Wasser, das ich schon früher aus einer kupfernen Destillirblase an Ort und Stelle bereitet hatte, bin ich von Pettenkofer's Vorschrift nur in so weit abgewichen, als ich eine stärkere Concentration des Barytwassers anwendete und zwar ungefähr dieselbe, wie sie bei den bekannten Respirationsversuchen im physiologischen Institute zu München als s. g. stärkeres Barytwasser für die Untersuchung der Athemluft gebraucht wird.

Die Anzahl der einzelnen Bestimmungen konnte nur eine beschränkte sein, da das Trocknen der geaichten Glaskolben, die zur Sammlung der zu untersuchenden Luft bestimmt waren, bei dem Mangel eines geeigneten Trockenapparates stets einige Mühe und Zeit erforderte, und da ausserdem von den von München übersandten vier Kolben einer während des Transportes zu Grunde ging und

1) 100 Hektoliter = 1700 Kilogramm Zucker = (nach dem Verhältnisse von 198 : 88) 755.5 Kilogramm Kohlensäure.

2) Hiebei wurde ich von stud. med. H. v. Hösslin in freundlichster Weise unterstützt.

3) Vergl. Abhandl. der naturwissensch.-techn. Commission der bayer. Akad. d. Wissensch. II. Bd., S. 1 u. ff.

somit nur die geringe Anzahl von dreien zur Verwendung gelangen konnte.

Ausser der Kellerluft in verschiedener Höhe und Entfernung von dem mit gährendem Moste gefüllten Fasse wurde nun die Luft in verschiedenen Räumen und Theilen des Wohnhauses auf ihren Kohlensäuregehalt untersucht, und zwar wurden hiezu von den Hochparterreräumen ein nach Süden gelegenes Zimmer und der Hausgangraum, von den im ersten Stockwerke gelegenen Räumen ebenfalls der Wohnungsvorplatz und ein nach Norden gelegenes Zimmer gewählt. Bezüglich der Gewinnung der zu untersuchenden Zimmerluftproben habe ich zu erwähnen: 4 Stunden bevor die Luft zur Untersuchung entnommen wurde, hatte ich in dem betreffenden Raume etwa ½ Stunde lang sämmtliche Fenster und Thüren geöffnet, damit in denselben ein Luftgemenge hergestellt würde, das in seinem Kohlensäuregehalte möglichst der freien Atmosphäre sich annähere. Es war dies wohl um so leichter zu erreichen, als die gewählten Zimmer nicht zu dauerndem Aufenthalte von Menschen dienten — die Inwohnerschaft des ziemlich grossen Wohngebäudes mit Einschluss des Dienstpersonals belief sich zur Zeit meiner Untersuchungen auf acht Erwachsene und einen 10jährigen Knaben — und sonstige besondere Kohlensäurequellen nicht vorhanden waren. Dann wurden Thüren und Fenster rasch verschlossen und die Zimmer erst wieder und zwar von mir allein, wie erwähnt, nach etwa 3—4 Stunden betreten, um die vorher aufgestellten Glaskolben mittelst des Blasebalges mit der zu untersuchenden Zimmerluft zu füllen.

Ganz in gleicher Weise wurde verfahren, als am dritten Versuchstage die erwähnten Zimmer aus später anzuführenden Gründen geheizt wurden. Dies letztere geschah im Parterrezimmer durch einen von aussen zu heizenden thönernen, in dem im 1. Stockwerke gelegenen Zimmer durch einen von innen zu heizenden eisernen Ofen. Beide Oefen wurden etwa Nachmittags 3 Uhr bei geöffneten Fenstern und Thüren angeheizt. In dem eisernen Ofen brannte das Holzfeuer bei dem gut ziehenden Kamine alsogleich, in dem thönernen Ofen nach Verlauf weniger Minuten. Obwohl also kaum Verbrennungsprodukte aus dem Ofen in bemerkbarer Weise ins

Zimmer gelangten, so wurden die Fenster und Thüren erst etwa um 5 Uhr, also nach Verlauf von zwei Stunden, bei bereits eingetretener merklicher Erhöhung der Zimmertemperatur geschlossen. Das Feuer in beiden Oefen wurde durch erneutes Nachlegen von Holz in lebhaftem Brennen erhalten, zu welchem Zwecke das von aussen zu heizende Parterrezimmer gar nicht, das zweite Zimmer nur vorübergehend von einer Person betreten werden musste. Um acht Uhr des Abends wurden endlich rasch die Luftproben entnommen.

Ich bemerke noch vorher, was auch den mit Normalthermometern beobachteten Temperaturen, die ich in der folgenden Tabelle angegeben habe, zu entnehmen ist, dass die Witterung an den sämmtlichen Versuchstagen eine ungemein gleichmässige und gute war, so wie sie nur selten beobachtet wird. Dies war natürlich ein für meine Beobachtungen ausserordentlich günstiger Umstand, da nunmehr besondere bewegende Kräfte, wie etwa Wind, grössere Temperaturdifferenzen zwischen Aussen und der Wohnungsluft, nicht störend wirkten.

Nach den ausgeführten Bestimmungen ergaben sich nun für die Luft der untersuchten Räume nachstehende Mengen von Kohlensäure, deren Volum stets auf die gleichzeitig beobachteten Temperaturen berechnet ist. Die Anordnung der Tabelle selbst bedarf wohl keiner weiteren Erklärung:

| Untersuchter Raum. | Temperatur der Luft. | Kolbeninhalt nach Abzug d. Barytwassers | Menge der $CO_2$ im Kolben in Mgr. | in c. c. | Volum $CO_2$ in 1000 Vol. Luft. |
|---|---|---|---|---|---|
| **21. Oktober 1872, Nachmittags 3 Uhr:** | | | | | |
| 1) Boden des Kellers[1]) | 13.2°C. | 4400.6 c. c. | 152 | 80.545 | 18.30 |
| 2) mittlere Kellerhöhe | 14.4 | 5146.3 | 116 | 61.689 | 11.99 |
| 3) Decke des Kellers | 14.4 | 5923.3 | 88 | 46.798 | 7.90 |
| **22. Oktober, Vormittags 9 Uhr:** | | | | | |
| 4) Kellerboden | 14.2 | 4400.6 | 356 | 189.321 | 43.02 |
| 5) Kellerdecke | 14.2 | 5146.3 | 156 | 82.961 | 16.12 |

1) Die Luftproben im Keller sind, mit einziger Ausnahme von Beobachtung Nr. 6, die in einem kleinem Seitenkeller etwa 12 Meter vom gährenden Moste entfernt gemacht wurde, in unmittelbarer Nähe des mit Most gefüllten Fasses genommen.

| Untersuchter Raum | Temperatur der Luft | Kubikinhalt nach Abzug d. Barytwassers | Menge der $CO_2$ im Kolben in Mgr. | in c. c. | Volum $CO_2$ in 1000 Vol. Luft |
|---|---|---|---|---|---|
| **22. Oktober, Nachmittags 3 Uhr:** | | | | | |
| 6) Kellerboden | 14.0 | 4500.6 c.c. | 258 | 137.204 | 30.49 |
| 7) Parterrezimmer | 15.8 | 5246.3 | 16 | 8.568 | 1.63 |
| 8) Zimmer im 1. Stocke | 14.4 | 5923.3 | 12 | 6.382 | 1.08 |
| **23. Oktober, Nachmittags 3 Uhr:** | | | | | |
| 9) Kellerboden | 14.4 | 4400.6 | 68 | 36.162 | 8.22 |
| 10) Luft im Freien, in unmittelbarer Nähe einer Kellerlucke | 13.7 | 5923.3 | 8 | 4.254 | 0.72 |
| **23. Oktober, Nachmittags 4½ Uhr:** | | | | | |
| 11) Hausgang z. ebener Erde | 13.8 | 4500.6 | 14 | 7.445 | 1.65 |
| 12) Hausgang im 1. St. | 14.4 | 5923.3 | 8 | 4.254 | 0.72 |
| **23. Oktober, Abends 8 Uhr:** | | | | | |
| 13) Kellerboden | 13.0 | 4500.6 | 26 | 13.777 | 3.06 |
| 14) Geheiztes Zimmer zu ebener Erde | 22.4 | 5246.3 | 18 | 9.841 | 1.88 |
| 15) Geheiztes Zimmer im 1. Stocke | 22.8 | 5923.3 | 16 | 8.778 | 1.48 |
| **24. Oktober, Nachmittags 5 Uhr:** | | | | | |
| 16) Kellerboden | 13.0 | 4500.6 | 6 | 3.179 | 0.71 |
| 17) Zimmer im 1. Stck. | 13.6 | 5923.3 | 6 | 3.191 | 0.54 |

Aus den in vorstehender Tabelle zusammengestellten Beobachtungen geht nun zuerst hervor, dass bei der gleichmässigen und günstigen Kellertemperatur die Gährung der erheblichen Menge Traubenmostes in überraschend kurzer Zeit vollendet war, ein Umstand, der die möglichste Beschleunigung der Untersuchungen am 23. Oktober nach sich zog. Um diesen Verlauf der Gährung zu kennzeichnen, stelle ich den Kohlensäuregehalt der Kellerluft in der Nähe des nicht gepflasterten Kellerbodens in den aufeinander folgenden Beobachtungen zusammen. Es befanden sich hienach in 1000 Vol. Luft am Kellerboden:

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1. Tag Nachmittags | in unmittelbarer Nähe des gährenden Mostes | 18.30 Vol. $CO_2$ | |
| 2. „ Vormittags | | 43.02 „ „ [1] | |
| 2. „ Nachmittags, | entfernt von dem Fasse mit gährendem Moste . . . . | 30.49 „ „ | |
| 3. „ Nachmittags | in unmittelbarer Nähe des mit gährendem Moste gefüllten Fasses | 8.22 „ „ | |
| 3. „ Abends | | 3.06 „ „ | |
| 4. Nachmittags | | 0.71 „ „ | |

Der so unerwartet rasche Verlauf der Kohlensäureentwicklung bei der Gährung des Zuckers im Traubenmoste gestattete keine öftere erfolgreiche Wiederholung der Kohlensäurebestimmungen in verschiedenen Räumen, doch sind die sogleich zu besprechenden Zahlenresultate prägnant genug, um deren Mittheilung zu gestatten.

Es zeigt sich nämlich, dass der Kohlensäuregehalt der Luft von völlig unbewohnten Zimmern, in welchen keine Kohlensäurequellen irgend einer Art enthalten sind, den mittlern Gehalt der atmosphärischen Luft an diesem Gase, der bekanntlich 0.3—0.5 p. M. beträgt, weit — um das 3- bis 5fache — und den Kohlensäure-Gehalt der freien Luft in der Nähe einer geöffneten Kellerlucke, der nach Nr. 10 der Haupt-Tabelle 0.72 p. M. ist, um das Doppelte und mehr übersteigt. Und dies ist nun nicht blos in den geschlossenen Zimmern, sondern selbst noch in den offenen weiten Verbindungsgängen des Hauses der Fall. Ferner ist ersichtlich, dass der Kohlensäuregehalt in den oberen Theilen des Hauses, welche entlegener von den Kellerräumen sind, geringer ausfiel als in den Räumen, die unmittelbar dem Keller aufgebaut sind. Nach der Tabelle (Beobachtung Nr. 6—9, 11 und 12) enthalten nämlich 1000 Raumtheile Luft:

| | | |
|---|---|---|
| 2. Tag | Keller | 30.49 Vol. $CO_2$ |
| „ | Zimmer parterre | 1.63 „ „ |
| „ | „ im 1. Stocke | 1.08 „ „ |

1) Nicht uninteressant ist, dass das Einathmen der 4% Kohlensäure enthaltenden Luft am Kellerboden während 10 Minuten, andern Angaben widersprechend, kaum Beschwerden verursachte, und dass die Flamme einer Stearinkerze in derselben Luft ruhig fortbrannte, ohne sich hiebei in merkbarer Weise zu verlängern.

| | | |
|---|---|---|
| 3. Tag Keller | 8.22 | Vol. $CO_2$ |
| „ Hausgang parterre | 1.65 | „ „ |
| „ „ im 1. Stocke | 0.72 | „ „ |

Man muss wohl hieraus schliessen, dass aus den Kellerräumen kohlensäurereiche Luft in die Zimmer- und Hausräume eingedrungen; und zwar ist dies leicht erklärlicherweise um so mehr der Fall, je näher die letzteren dem Keller liegen.

Man könnte sich nun allerdings vorstellen, dass das Kohlensäuregas, das in reichlichem Maasse im Keller unter dem Hause sich entwickelte, durch Diffusion, also auf einem durch Molekularkräfte vermittelten Wege sich in die Wohnräume sowohl, wie auch in die das Haus umgebende Luft verbreitete, wobei eigentliche Luftströmungen ausgeschlossen wären. So erklärt z. B. v. Pettenkofer[1]), die von ihm gemachte Beobachtung, dass an der Marienquelle in Marienbad, welcher ein zu 70% aus Kohlensäure bestehendes Gas in reichlicher Menge entströmt, die Luft in einer Höhe von 5 Ctr. nur 31% und etwa 100 Ctr. hoch über dem Spiegel der Quelle gar nur mehr 2% Kohlensäure enthält, dadurch, dass die spez. leichtere atmosphärische Luft mit grosser Geschwindigkeit in die schwerere Kohlensäure und umgekehrt diffundire und sich so die letztere rasch verdünne. Allein der Annahme einer blossen Diffusion der Kohlensäure in meinem Falle stehen doch einige Bedenken entgegen. Die Verbreitung der Kohlensäure durch die translatorische Bewegung der Gasmoleküle allein erfolgt in Wirklichkeit nicht besonders rasch. Diess ist ausser von Graham namentlich durch die Untersuchungen Lohschmidt's[2]) und seiner Schüler gezeigt worden, und dürfte auch meinen Beobachtungen entnommen werden.

1) Diese Zeitschrift Bd. IX, S. 249.

2) Wiener akad. Bericht. Bd. 61 (2. Abtheilung) und Bd. 62 (2. Abtheilung.) Von der relativ langsamen Verbreitung von Gasen durch freie Diffusion konnte ich mich bei einer Untersuchung über einige Ventilationsfragen überzeugen, die ich gemeinsam mit Prof. Ernst Voit im Laufe des vorigen Jahres ausführte und über deren Resultate wir seinerzeit berichten werden. In einem Saale von etwa 190 Kubikmeter Rauminhalt wurden möglichst rasch 2—3 Kilogramm Kohlensäure durch Uebergiessen eines Brei's von doppelkohlensaurem Natron mit conc. Schwefelsäure entwickelt. Nach vollendeter Gasentbindung wurden an neun Punkten des Saales in verschiedener Höhe gleichzeitig nach v. Pettenkofer's Methode Luftproben entnommen und auf deren Kohlensäure-

Das Fass nämlich, in welchem sich der gährende Traubenmost befand, hatte mit dem Lager eine Höhe von etwa 3 Meter. An dem obersten Punkte der Fasswölbung befindet sich eine kleine Spundöffnung von etwa 8 Ctr. Durchmesser, durch welche allein die gesammte während der Gährung gebildete Kohlensäure entweichen kann. Trotzdem nun diese nahe der Decke des Kellers in die Kellerluft aus dem Fasse übertrat, so wurde doch stets der Kohlensäuregehalt der Luft an der Decke erheblich geringer, als in mittlerer Kellerhöhe und hier geringer als am Boden des Kellers gefunden (vergl. Beob. 1, 2, 3, 4 und 5 der Tabelle S. 398 und 399) und zwar nach Luftproben, welche in derselben vertikalen Ebene zur Untersuchung gewonnen worden waren. Ja in einem mit dem Hauptkeller durch einen etwa 7 Meter langen Verbindungsgang zusammenhängenden Seitenkeller, in den kein gährender Most gebracht worden war, an einem Orte, der von der einzigen Kohlensäurequelle im Keller mindestens 12 Meter entfernt war (vergl. Beob. Nr. 6), war die Menge der Kohlensäure in der Luft am Erdboden grösser, als ich sie in der unmittelbaren Nähe der Kohlensäurebildungsstätte in der Höhe des Kellerraumes gefunden. Das aus dem Fasse austretende schwere Gas sinkt demnach zweifellos grossentheils den Wandungen des Fasses entlang zu Boden und häuft sich hier in grösserer Menge, nach den Seiten zu abfliessend, an, während nur allmählig ein geringer Antheil durch Diffusion sich verbreitet. Dafür spricht auch noch ein weiterer Umstand. Wollte man annehmen, dass die Verbreitung der Kohlensäure von ihrer Bildungsstätte aus nur durch

---

gehalt untersucht. Nach Verlauf einer Viertelstunde wurden die Bestimmungen wiederholt. Der mittlere Kohlensäuregehalt der Saalluft in 1000 Vol. derselben betrug:

| | Anfangs | nach 15 Min. |
|---|---|---|
| Plafond | 2.8 Vol. $CO_2$ | 4.0 Vol. $CO_2$ |
| mittlere Saalhöhe | 1.6 „ „ | 3.2 „ „ |
| Fussboden | 23.3 „ „ | 21.4 „ „ |

Hier sind noch dazu Luftströmungen, hervorgerufen durch Temperaturdifferenzen, den Aufenthalt einer Anzahl von Personen, die gleichzeitig die Luftproben zu nehmen hatten u. dgl. nicht ausgeschlossen; dessungeachtet aber die geringe Veränderung des Kohlensäuregehaltes der verschiedenen Luftschichten nach einiger Zeit.

Diffusion mit grosser Geschwindigkeit erfolgt, so wäre es schwer erklärlich, warum in der Luft der Wohnungsräume eine grössere Menge von Kohlensäure gefunden wurde, als selbst in der Nähe einer in's Freie führenden Kellerlucke. Man müsste folgerichtig annehmen, dass entweder der Diffusionsstrom der Kohlensäure im Hause sehr beschleunigt oder der Strom der atmosphärischen Luft, der in entgegengesetzter Richtung verläuft, erheblich verlangsamt wäre. Ein solch eigenthümlicher Einfluss auf Gas-Diffusionsvorgänge durch Bedingungen, welche allenfalls in den Baumaterialien gelegen wären, ist bis jetzt wenigstens nicht beobachtet worden.

Ich bin daher geneigt, anzunehmen, dass die im Keller gebildete Kohlensäure vorzüglich durch Lufströmungen, die nicht das Kohlensäuregas allein nach aufwärts bewegen und die ich im Gegensatze zu Diffusionsströmen mechanische nennen will, sich vom Keller durch das gesammte Haus und zwar nicht durch vorbereitete weitere Oeffnungen, wie Thüren u. dgl., die nicht vorhanden sind, sondern durch die Lücken und Poren der Fussböden verbreitete. Bemerkenswerth ist hiebei, dass solche mechanische Strömungen selbst bei den unerheblichen Temperaturdifferenzen, wie sie während der Versuchszeit beobachtet wurden, stattfinden.

Die durch meine Untersuchungen erhaltenen Zahlenresultate nun sprechen mit Bestimmtheit dafür, dass die Luft in unseren Wohnungen in beständigem Verkehre mit der Kellerluft und, da wir im Ganzen die Luft in den Kellern als identisch mit der umgebenden Bodenluft betrachten können, mit der Grundluft unter unseren Füssen steht[1]).

Wir sind sogar im Stande ein annäherndes Maass für diesen Verkehr in unserem Falle aufzufinden. Nehmen wir an, dass die Menge der in dem Parterrezimmer enthaltenen Luft, deren Kohlensäuregehalt ich zu 1.6 p. M. bestimmte (vergl. Beob. Nr. 7), 1 be-

---

1) Es liegt auf der Hand, dass dieser Schluss sowohl wie die folgenden Berechnungen und Folgerungen ihre volle Giltigkeit auch dann bewahren, wenn man entgegen meinen Ausführungen es vorzöge, die Verbreitung der Kohlensäure von dem Keller aus nicht durch mechanische, sondern durch Diffusionsströmungen geschehen zu lassen.

trägt. Diese Menge setzt sich ihrem Kohlensäuregehalte nach zusammen aus $x$ atmosphärischer Luft mit 0.5 p. M. Kohlensäure und $y$ Kellerluft mit dem Kohlensäuregehalte 16 p. M. (Beob. Nr. 5). Wir erhalten sonach folgende Gleichungen:

$$x + y = 1$$

$$0.5\, x + 16\, y = 1.6 \text{ oder } y = 0.07$$

d. h. 7% der in dem Zimmer vorhandenen Luft besteht aus Keller- resp. Bodenluft. Nehmen wir den Kohlensäuregehalt der Kellerluft entsprechend der Beobachtung Nr. 6 zu 30.5, so erhalten wir immer noch

$$y = 0.037$$

d. h. 4% der Luft des Wohnzimmers ist Keller- oder Grundluft.

Für die Luft des im 1. Stockwerke gelegenen Zimmers (Beob. Nr. 8) erhalten wir

$$y = 0.02$$

oder selbst in dem vom Untergrunde entferntern Zimmer ist noch immer 2% Keller- oder Bodenluft.

Aus den Beobachtungen 9 und 11 berechnet sich

$$y = 0.15$$

oder 15% der Luft des Hausganges ist Luft aus dem Keller.

Entstammt nun, wie aus meinen Beobachtungen hervorgeht, die Luft unserer Wohnräume zu einem erheblichen Bruchtheile der Grundluft, welche in den der Erde gleich Glocken[1]) aufgesetzten Wohngebäuden beständig aufwärts steigt, geht also wirklich ein Theil des natürlichen Luftwechsels unserer Wohnungen durch den Fussboden von unten her vor sich, so muss dann, wenn günstige Bedingungen für einen solchen Luftwechsel geschaffen werden, wohl ein noch weit grösserer Antheil der Keller- oder Grundluft in die Wohnräume gelangen. Günstige Bedingungen der natürlichen Ventilation finden sich bekanntlich bei der Erhöhung der Zimmertemperatur durch die Heizung[2]).

Um die Richtigkeit dieser Voraussetzung zu prüfen, habe ich die gleichen Zimmer, in welchen ich den Kohlensäuregehalt bei

1) Vergl. Pettenkofer, bayr. Ind.- u. Gewerb.-Bl. 1860, S. 144.

2) Vergl. Pettenkofer, Abhandl. der naturwissensch.-techn. Commiss. der bayr. Akad. zu München. Bd. II, S. 91 u. ff.

gewöhnlicher Temperatur bestimmte, heizen lassen. Der Erfolg der Heizung ist ausgedrückt in den für die Kohlensäuremenge in der Zimmerluft ermittelten Zahlen der Beobachtungen Nr. 13, 41 und 15 der Tabelle S. 399.

Trotzdem bei dem raschen Verlaufe der Gährung die in dem Kellerraume enthaltene Kohlensäuremenge beträchtlich niedriger war als noch den Tag vorher und nur etwa 3 p. M. der Kellerluft betrug, so stieg beeinflusst durch die Temperaturerhöhung der Zimmerluft unter sonst gleichen Bedingungen der Kohlensäuregehalt auf eine Höhe, die zuvor nicht erreicht worden war, d. h. es gelangte nunmehr ein viel grösserer Bruchtheil der noch immer kohlensäurereichen Kellerluft auf dem Wege der natürlichen Ventilation in die geheizten Zimmer; ja man könnte sogar der Ansicht sich zuneigen, dass die durch die Heizung vermehrte natürliche Ventilation hauptsächlich auf dem Wege von unten nach oben, also vom Keller aus, vor sich gegangen.

Berechnet man nach der obigen Gleichung mit den gefundenen Zahlen das Mengenverhältniss, in welchem die Kellerluft an dem durch die Heizung verstärkten Luftwechsel der Wohnräume theilnahm, so erhält man

$$x + y = 1$$
$$0.5x + 3.1y = 1.9 \text{ oder}$$
$$y = 0.54$$

d. h. 54% der in dem geheizten Zimmer des Parterreraumes enthaltenen Luft stammt, ihrem Kohlensäuregehalte entsprechend, aus der Kellerluft.

Die Rechnung für das Zimmer des 1. Stockwerkes (Beob. Nr. 15) ausgeführt, gibt wegen der grösseren Entfernung vom Keller und der dadurch in höherem Maasse ermöglichten Beimischung atmosphärischer Luft leicht erklärlicher Weise etwas niedrigere Zahlen. Hier ist

$$y = 0.38$$

oder 38% der Zimmerluft sind nach dem Kohlensäuregehalte Kellerluft.

Die oben gemachten Voraussetzungen sind somit durch den Versuch vollständig bestätiget worden.

Aus den Resultaten, welche in dem von mir beobachteten Falle erhalten wurden, auf eine allgemeinere Existenz ähnlicher Verhältnisse zu schliessen, dürfte nicht unerlaubt erscheinen. Fassen wir demnach die Beobachtungen zusammen, so würde damit gezeigt sein, dass beständig von dem Grunde, auf dem wir wohnen, Luftströmungen in unsere Wohnräume eindringen, dass wir also mit dem Boden unter uns durch die Luft in einem steten und unmittelbaren Verkehre stehen. Um so mehr ist dies natürlich der Fall, wenn unter bestimmten Bedingungen, wie z. B. bei der Heizung in der kälteren Jahreszeit, durch die Wirkung beständig erwärmter Heerde in den Küchen, Bäckereien u. dgl. jene Strömungen in hohem Grade lebhafter vor sich gehen.

Dass unter solchen Umständen die Produkte gewisser noch unbekannten Vorgänge im Erdreiche durch die Vermittlung der Luft auf uns einwirken können, wie dies durch die Beobachtungen v. Pettenkofer's über die Verbreitungsart von Typhus und Cholera erkannt wurde, ist selbstverständlich; ja nach den vorliegenden Zahlen über die Grösse des Luftverkehrs zwischen Boden und Wohnhaus genügt dieser vollständig zur Erklärung einer solchen Vermittlung, ohne dass man hiezu, wie man so häufig geneigt ist, die Hilfe des Wassers in Anspruch zu nehmen braucht.

Wie aus meinen Beobachtungen hervorgeht, kann nämlich unter den gleichmässigsten Temperatur- und Witterungsverhältnissen, zu einer Zeit, in welcher keine besonders hervorragenden Ursachen für Luftströmungen zwischen Boden und Wohnräumen wie Heizung u. dgl. wirken, die Luft in dem 2. Stockwerke eines freistehenden Wohnhauses stets noch 2—3% aus Bodenluft bestehen. Wir bringen somit in 1 Stunde mit 480 Liter Inspirationsluft 10—14 Liter Luft in unsere Lungen, welche auf dem kürzesten Wege, durch die Fugen, Ritzen und Poren der Fussboden, aus dem Untergrunde in unsere Wohnräume gelangte. Dieser Luftmenge gegenüber ist die Menge Wassers, welche wir in derselben Zeit geniessen, verschwindend klein, abgesehen davon, dass wohl nur der geringste Antheil des genossenen Wassers direkt aus dem Boden stammt: die Menge Wassers, welche von einem Erwachsenen in sämmtlichen

Speisen und Getränken in 24 Stunden aufgenommen wird, beträgt nach meinen Beobachtungen[1]) etwa 3 Liter, und hiezu bemerke ich noch, dass in München, wo doch Typhus und Cholera zu Zeiten epidemisch aufgetreten sind, bei der Gewohnheit der Bevölkerung, leichtes Bier zu trinken, der Genuss von Trinkwasser, das direkt dem bewohnten Boden entnommen, ein ausserordentlich mässiger genannt werden muss, wie denn auch von den sämmtlichen Personen, auf deren Wasserverbrauch ich eben verwies, gar kein Trinkwasser als Getränke genossen wurde.

Zum Schlusse kann ich nicht umhin, noch auf einen, wie ich glaube, bemerkenswerthen Umstand aufmerksam zu machen. Es ist bekannt, dass bei Typhus- und Cholera-Epidemien die individuelle Disposition zu erkranken, eine wesentliche Rolle spielt. Es dürfte sich wohl fragen, ob nicht die Verschiedenheit dieser Disposition in manchen Fällen ihren Grund in Verhältnissen findet, ähnlich denen, welchen wir im Verlaufe unserer Betrachtungen begegnet sind. So könnte ich mir beispielsweise vorstellen, dass die bisweilen behauptete Disposition von Dienstmägden an Typhus zu erkranken, damit in gewissem Zusammenhange stünde, dass dieselben häufig in Räumen sich aufhalten und schlafen, welche der fast ständig erwärmten Küche nahe gelegen sind. Wie wir sahen, sind hier Luftströmungen vom Untergrunde aus viel mächtiger, als in anderen nicht erwärmten Theilen eines Hauses, so dass in solchen Fällen eine Verschleppung jener unbekannten Bodenprodukte durch die Luft in höherem Grade nicht gerade unwahrscheinlich sein dürfte. Es würde sich sicherlich verlohnen, bei der Frage der individuellen Disposition solche äussere Verhältnisse ebenfalls in Betracht zu ziehen.

---

1) Zeitschrift f. Biol., Bd. IX, S. 391.

# Ueber den sanitären Werth des atmosphärischen Ozons.

Von

**Dr. med. Gustav Wolffhügel,**

Assistent des hygienischen Instituts in München.

Im Frühjahre 1873 habe ich mir auf Anregung des Herrn Professor von Pettenkofer die Aufgabe gestellt, für den sanitären Werth des Ozons der atmosphärischen Luft sicherere Belege zu suchen als die einschlägige Literatur uns zu geben vermag, und mit Unterbrechungen dieses Ziel seither verfolgt. Beim Niederschreiben nachstehender Skizze bin ich mir geständig, demselben weniger nahe gerückt zu sein, als ich erwartet habe, und überwinde nur in Folge wiederholter Aufforderung meine Scheu vor Veröffentlichung einer noch fragmentarischen Arbeit.

## I. Wie soll man den Ozongehalt bestimmen?

In der Ozonfrage war für die exakte Forschung jederzeit der Mangel einer ausschliesslichen Reaktion und quantitativen Methode hemmend im Wege gestanden, ohne dass es den vielseitigsten Bestrebungen gelingen wollte, das bald als durchaus unzulänglich erkannte Kaliumjodidkleisterpapier Schönbein's durch ein besseres Verfahren aus den meteorologischen Stationen zu verdrängen. Zuerst versuchte man Modifikationen seiner Bereitungsweise und sind solche angegeben von Moffat[1]), E. J. Lowe[1]), Negretti und Zambra[1]), Jame[1]), Lerebours[2]), J. Day[1]), Polli[3]), Osann[4]), Dewar[1]). Bedenken gegen die Verlässigkeit des Kaliumjodid-

---

1) Bei Cornel. Fox. p. 169, 170 und 171.
2) Bei Berigny.
3) Omedei Annali Vol. CXXXIV, 155.
4) Journ. pr. Chem. LXIII, 92.

kleisters gab zuerst Cloëz[1]) kund, welchem sich Campani[2]), Berigny[3]), Pless und Pierre[4]), Zenger[5]), Heldt[6]), Begemann[7]), Fremy[8]), Weltzien[9]), Daubeny[10]), Huizinga[11]) u. A. anschlossen; in der neueren Zeit vertritt sehr warm Cornelius Fox[12]) die Ansichten dieser Autoren. Ja die Zweifel an der Reinheit und Verlässigkeit des Kaliumjodidkleisters als Ozonreagens nahmen bei Einzelnen ein so bestimmtes Gepräge an, dass z. B. Begemann, Fremy, Weltzien die Existenz von Ozon in der atmosphärischen Luft, ausser bei Gewittern, für nicht erwiesen erklärten. Schönbein[13]) selbst verschloss sich dem Einwande, dass Sonnenlicht, Wasserstoffdioxyd, salpetrige Säure, flüchtige organische Säuren und andere accessorische Bestandtheile der Luft das Kaliumjodidkleisterpapier ebenso wie Ozon zu bläuen vermögen, dass andere dagegen, wie schwefelige Säure oder Schwefelwasserstoff blaugefärbtes Papier wieder bleichen können; doch blieb er nach näherer Prüfung bei seinem nicht als Ozonometer, sondern nur als meteorologisches Ozonoskop eingeführten Reagens, einerseits weil der störende Einfluss accessorischer Beimischungen der Luft durch richtige Anlage der Beobachtungsstation leicht eliminirt werden kann, anderseits weil kein ausschliessliches Reagens zu finden war, das bei der für meteorologische Zwecke nöthigen Einfachheit der Anwendung empfindlich genug ist, eine annähernde Schätzung der Ozonschwankungen zuzulassen.

Unter den mannigfachen Vorschlägen, welche einzeln zu besprechen mich zu weit führen würde, verdient ohne Zweifel Hou-

1) Compt. rend. XLIII, 38.
2) Cimento. IV, 112.
3) Compt. rend. XLIV, 1104.
4) Wien. Akad. Ber. XXII, 211.
5) Ibidem. XXIV, 78.
6) Chem. Centralbl. 1862, 886.
7) Arch. Pharm. CXIII, 1.
8) Compt. rend. LXI, 939.
9) Annal. Ch. Pharm. CXXXVIII, 129.
10) Chem. soc. J. (2) V, 1.
11) Journ. pr. Chem. CII, 193.
12) Ozone and Antozone by Corn. Fox, London, J. A. Churchill, 1873.
13) Journ. pr. Chem. CI, 321.

zeau's[1]) Kaliumjodidlackmuspapier die meiste Beachtung, bei welchem die Reaktion durch Einwirkung des freiwerdenden Kalium auf den weinrothen Lackmus zu Stande kommt. Fox empfiehlt sehr dessen Anwendung und gibt dazu eine Scala mit drei Graden, während Houzeau von einer Schätzung des Ozongehaltes absieht und sich mit dem einfachen Nachweis begnügt. Um sicher zu sein, dass auf das Reagenspapier nur Ozon eingewirkt hat, wird gleichzeitig ein zweiter Streifen Lackmuspapier ohne Kaliumjodid von genau derselben weinrothen Farbe ausgesetzt; eine leichte Farbenveränderung an der Controlprobe, welche nach Fox durch eine unbedeutende Zersetzung im Papiere selbst entstehen soll, darf jedoch nicht zur Annahme verleiten, als sei dieselbe durch ein in der Luft enthaltenes Alkali veranlasst. Aus eigener Erfahrung weiss ich, dass solche Farbenveränderungen an der Controlprobe, wie auch das Erblassen des Lackmuspapiers an der Luft, jederzeit bei der Beurtheilung der Reaktion zu störenden Erscheinungen werden können; überdies sind für mein Auge die Farbennuancen zwischen weinroth und blau der Scala zu wenig different, die Zubereitungsweise des Papieres so delikat und dessen Haltbarkeit von zu geringer Dauer, dass ich für meine Zwecke dem Kaliumjodidkleisterpapier den Vorzug geben musste.

Ich will auch der eigentlichen quantitativen Methoden gedenken, welchen der Mangel der Ausschliesslichkeit nicht minder anklebt, wie den qualitativen Proben, so dass es der viel grösseren Mühe sich nicht verlohnt haben würde, mich einer derselben bei meinen Versuchen zu bedienen. Zur Bestimmung der Ozonmenge benützte Schönbein[2]) eine mit Kaliumchlorat titrirte Indigolösung, Baumert[3]) eine Kaliumjodidlösung, in welcher das freigewordene Jod nach Bunsen[4]) mit schwefeliger Säure titrirt wurde, Zenger[5]) verglich die in Jodwasserstoffsäure durch Ozon entstandene Färbung

1) Compt. rend. XLV, 873.
2) Journ. pr. Chem. LVI, 349.
3) Pogg. Annal. LXXXIX, 38.
4) Annal. Chem. Pharm. LXXXVI, 26?.
5) l. c.

mit einer Scala von Kupfersulfat und Cuprammoniumsulfat, Houzeau[1]) leitete die durch Kali und Schwefelsäure zuvor von Säure und Ammoniak befreite Luft durch eine mit bestimmter Menge Schwefelsäure versetzte Kaliumjodidlösung und bestimmte den Ozongehalt, indem er die nicht durch das freigewordene Kali neutralisirte Säure titrirte; auch Cossa[2]) schickte die Luft zuerst durch Kalilauge, um die stickstoffhaltigen Luftbestandtheile von der Kaliumjodidlösung fern zu halten, titrirte aber wie Baumert; Thenard[3]) empfahl die arsenige Säure mit einer Normallösung von Kaliumpermanganat. Abgesehen von dem schon betonten Mangel, dass auch mit diesen quantitativen Methoden der reine Ozongehalt nicht erfahren wird, können dieselben bei dem zumeist unbedeutenden Ozongehalt der Atmosphäre nur mit sehr grossen Luftmengen uns Zahlenwerthe geben, welche durch einen stärkeren Ausschlag die unvermeidlichen Fehlerquellen genügend decken. Pless und Pierre fanden in 255 Liter Luft nur 0.02 Mg. Ozon, Zenger in 100 L. 0.002 bis 0.01 Mg., Schönbein in einer Luft, die deutlichen Ozongeruch gezeigt hatte, 1 Theil Ozon auf 500000 Luft, Houzeau gibt an, dass die Luft auf dem Lande 6 Fuss über dem Boden 1 Theil Ozon auf 700000 Luft enthält, für welche Berechnung 1.658 als Dichte des Ozons nach Soret zu Grunde gelegt ist; in einer Analyse von Richardson[4]) kam 1 Theil Ozon schon auf 10000 Luft.

Nach langem vergeblichem Mühen etwas Besseres zu finden, bin ich, wie schon bemerkt, schliesslich beim Kaliumjodidkleisterpapier geblieben und habe dafür Schönbein's Bereitungsweise gewählt, weil ich dessen Papier gegen Licht weniger empfindlich und beim Aufbewahren haltbarer finde. So besitzt das hygienische Institut ein von Schönbein selbst bereitetes Papier (ein Geschenk an Prof. v. Pettenkofer aus dem Jahre 1852), das nach 23 Jahren an seiner Brauchbarkeit kaum eine Einbusse erlitten hat; es ist noch weiss und seine Empfindlichkeit nur um ein Geringes ver-

1) Annal. Chem. Pharm. LXXXVI, 265.
2) Zeitschr. anal. Chem. VI, 24.
3) Compt. rend. 1872, 176.
4) Bei Fox, 144.

mindert. Ich habe auch ein aus Berlin in den Handel gebrachtes Kaliumjodidkleisterpapier mit dem meinigen verglichen, ohne demselben den gerühmten Vorzug einer besseren Empfindlichkeit einräumen zu können, und rathe die kleine Mühe nicht zu scheuen, das Reagens selbst zu bereiten, weil man nur dann sicher sein darf, mit chemisch-reinem Kaliumjodid zu arbeiten, das selten im Handel rein zu bekommen ist.

Die freie Lage meiner Beobachtungsstation ausserhalb der Stadt gab mir einigen Schutz vor jenen accessorischen Luftbestandtheilen, welche auf die Reaktion störenden Einfluss üben können. Auf die Ausschliessung von Wasserstoffdioxyd und salpetriger Säure glaubte ich bei meiner Fragestellung verzichten zu dürfen, zumal es noch unerwiesen ist, ob diese nur in Spuren nachweisbaren Bestandtheile der Atmosphäre in solcher Verdünnung das Reagens schon beeinflussen, und man über eine etwaige Mitwirkung bei der Reaktion sich zur Noth mit der Reflexion hinwegsetzen könnte, dass dieselben für ihre Bildung mit dem Ozon entweder viele Bedingungen gemein haben oder durch die oxydirende Wirkung des Ozons entstehen. Wenigstens glaubt Struve[1]) den Nachweis gefunden zu haben, dass Ozon, Wasserstoffdioxyd und salpetrige Säure bei allen Verbrennungen in der Atmosphäre gleichzeitig sich bilden müssen und nimmt Goppelsröder[2]) an, dass vom Ozon das Ammoniak der Atmosphäre zu salpetriger Säure, Salpetersäure und Wasser oxydirt werde, während Carius[3]) auf Grund seiner Untersuchungen dieser Oxydationsreihe noch das Wasserstoffdioxyd beifügte. Fox bestimmt neben seinen Ozonbeobachtungen mit Kaliumjodidlackmus gleichzeitig Ozon, Wasserstoffdioxyd und salpetrige Säure mittelst Kaliumjodidpapier, indem er diese drei als „air purifiers", „purifying agents" zusammenfasst.

Mehr schien es mir erforderlich, eine Fehlerquelle zu vermeiden, auf welche die meteorologische Ozonoskopie in Deutschland bisher zu wenig Gewicht gelegt hat, während man in England nach dem Vorgang von Mitchell, Smyth, Andrews seit Jahren

1) Neue Petersb. Akad. Bull. 1'. 325.
2) Journ. f. pr. Chem. 4, 139.
3) Annal. d Chem. Bd. 174, I, 53.

schon mit verbesserter Methode arbeitet. Böhm's[1]) sorgfältige Beobachtungen haben erwiesen, dass abgesehen von der Windrichtung die Windstärke mit dem Ozongehalte der Luft die genaueste Coincidenz zeigt, dass die Wahrscheinlichkeit eine Ozonreaktion zu bekommen in Prag bei Windstille nur 0.08, bei Westwind dagegen 0.65 beträgt, ohne jeden Zusammenhang mit dem Gange der Luftfeuchtigkeit. Nun ist aber die Empfindlichkeit unserer sämmtlichen Ozonreagentien im Verhältniss zu dem gewöhnlich sehr unbedeutenden Ozongehalt der Atmosphäre so gering, dass das atmosphärische Ozon eine Reaktion (ausser bei manchen Gewittern) nie sofort bewirkt, sondern sein Vorhandensein erst im Verlaufe von 6 bis 24 Stunden zeigt, während welcher Zeit das Reagens in Folge der steten Bewegung der Luft nicht mit ein und demselben Volumen in Berührung bleibt, sondern je nach der Geschwindigkeit dieser Bewegung vielen Luftmengen begegnet; es wird, um mit Fox zu reden, sonach das Reagenspapier mehr zum Anemometer als zum Ozonometer. Also kann die Färbung des Papieres nur der Effekt sein jener Summe von Ozon, welche in diesen je nach der Windstärke bald mehr, bald minder zahlreichen Volumina Luft enthalten war, und darf bei Schätzung des Ozongehaltes mithin nicht ausser Rechnung gelassen werden, wie viel Luft während der Versuchsdauer das Reagens passirt hat. Ganz ungenügend ist es aber am Beobachtungsresultat je nach Jahreszeit und Windrichtung eine Korrektion vorzunehmen, wie einzelne deutsche Beobachter es versucht haben, und würde die Burgess'sche Tafel[2]) sich für die Korrektion des Windfehlers noch eher eignen, in welcher die Windgeschwindigkeit für die Richtigstellung der Scala gerade maassgebend ist. Unter diesen Umständen lässt sich demnach aus dem Böhm'schen Beobachtungsresultat der Schluss noch nicht ziehen, dass bei einer stärkeren Luftbewegung mehr Ozon entsteht, als bei Windstille, so wahrscheinlich dieses auch sein mag. Es fehlt uns sonach jede Berechtigung über das Wesen der Ozonschwankungen überhaupt und spe-

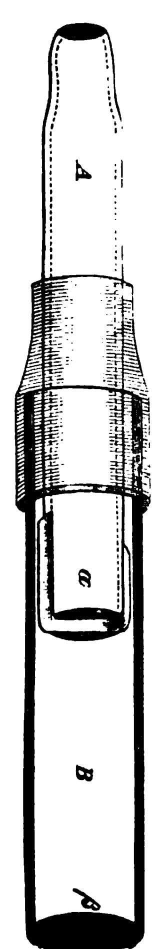
1) Wiener Akad. Ber. 1858, 11,409. Aehnliche Erfahrungen hat u. A. Houzeau (Compt. rend. LXII, 426) veröffentlicht.

2) Bei Fox, 193.

ciell über den sanitären Werth des atmosphärischen Ozons uns anders als in vermuthender Weise zu äussern, solange wir einer einfachen Methode entbehren, den Ozongehalt mit Ausschluss aller andern Bestandtheile der Luft, sei es gewichts- oder maassanalytisch zu bestimmen. Ich schliesse mich vollkommen Fox an, wenn er bei Beurtheilung aller jener Beobachtungen, auf Grund welcher man die Schwankungen des Ozongehaltes der Atmosphäre mit den sanitären Verhältnissen in Relation bringen wollte (z. B. den zufälligen Ozonmangel während Choleraepidemieen), glaubt keinen bestimmten Schluss ziehen zu dürfen und sehr befürwortet, diese Frage nun mit verbesserter Methode anzufassen. Allerdings sind mit der Berücksichtigung der Luftmenge, welche während der Beobachtungszeit das Ozonpapier passirt hat, und selbst mit den von den englischen Beobachtern ängstlich ausgebildeten Cautelen noch lange nicht jene Anforderungen erfüllt, welche die exakte Forschung stellen muss. Doch ist eine wesentliche Verbesserung der Methode damit schon erreicht, und wenn wir auch es noch lange nicht zu einer wirklichen Ozonometrie gebracht haben, so kann das modifizirte Verfahren doch für die Bearbeitung mancher Fragen einstweilen in Ermangelung eines besseren berechtigte Verwendung finden.

Ehe mir die Arbeit von Fox zu Gesicht gekommen war, hatte ich das Beobachtungsverfahren schon in der Weise eingerichtet, dass über das Reagens mittelst einer Gasuhr messbare Luftmengen durch einen Bunsen'schen Sauger geleitet werden, und konnte ich so die Erfahrungen von Fox vorurtheilsfrei verwerthen. Fox arbeitet, wie gesagt, mit Houzeau's Papier und legt grossen Werth auf seine etwas complicirte Einrichtung, mit welcher er glaubt, alle Fehlerquellen ausschliessen zu können. Nach meinen Erfahrungen scheint es zu genügen nur auf die Geschwindigkeit, mit welcher die Luft über das Reagens geht, und auf das Fernhalten von Licht und Hitze Rücksicht zu nehmen; ich sehe davon ab, eine bestimmte Himmelsrichtung für die Lage der Station und eine gewisse Entfernung vom Boden zu bevorzugen, wenn nur fern von Stätten der Fäulniss und Verwesung an einem kühlen schattigen Orte gearbeitet und die Luft aus dem Freien so direkt genommen werden kann,

dass sie nicht Gasröhren und Gummiverbindungen zu passiren braucht, um zum Reagens zu kommen. Mein Apparat ist also einfacher als der von Fox empfohlene und würde, wenn nicht Gasmesser und Bunsen-Sauger zu Gebote stehen, ein mit Wasser gefülltes Fass als Aspirator mir gleich guten Dienst leisten. Als „Ozonebox", d. h. als Apparat, in welchem ich das Ozonpapier geschützt vor Licht, Regen und Staub dem Luftstrome aussetze, dienen mir zwei an beiden Enden offene Glasröhren von verschiedenem Durchmesser ($A$ = 8.0, $B$ = 12.5 Mm.), von welchen die weitere mit Asphaltlack geschwärzt ist und für das Reagens die Hülle abgibt.




Die engere Glasröhre $A$, über deren Ende $\alpha$ ein schmaler Streifen Reagenspapier lose gelegt ist, wird mit diesem in $B$ 2 bis 3 Centimtr. tief eingeschoben und mit kurzem Gummischlauch zwischen beiden eine innige Verbindung hergestellt Das freie Ende der Röhre $A$ ist mit der Gasuhr und dem Sauger durch eine Gummiröhre verbunden, so dass während der Thätigkeit des Apparates alle bei $\beta$ einströmende Luft das Reagenspapier passiren muss, ehe sie in die Gasuhr kommt. Wie Fox zur Fernhaltung von Staub und zu grosser Feuchtigkeit noch besondere Vorkehrungen mit Platindrahtnetzen und dergl. zu treffen, sah ich mich nicht veranlasst. Dagegen finde ich dessen Anordnung bezüglich der Geschwindigkeit unerlässig, nach welcher man über das Reagens die Luft mit einer Geschwindigkeit von nicht mehr als 0.446 M. per Sekunde leiten darf[1]), weil eine grössere Geschwindigkeit dem Ozon zur Einwirkung auf das Reagens nicht genügend Zeit zu lassen und die Verflüchtigung des freiwerdenden Jods zu begünstigen scheint.

Nicht ohne Belang kann es für die Beurtheilung des Verfahrens sein, dass eine Kontrolprobe, über

1) Fox arbeitet mit einer Geschwindigkeit von 1 engl. Meile per Stunde bei einem Durchmesser der Eintrittsöffnung seiner Ozonebox von 1/4 engl. Zoll.

welche gleichzeitig mit annähernd derselben Geschwindigkeit ein gleiches Luftquantum geleitet wird, genau denselben Grad der Ozonscala gibt. Selbstverständlich nimmt man für solche Versuche, zu welchen ich auch die Luft von der nämlichen Stelle aus dem Freien nahm, nur Papier von gleicher Bereitungsweise und gleichem Alter; ich finde es zweckmässig, einen kleinen Streifen des Papieres hiefür zu theilen. Weniger genau erwies sich das Verfahren gegenüber einer weiteren Probe. Lasse ich nämlich im Anschluss an einen solchen Versuch den einen Sauger fortarbeiten, ohne das Ozonpapier zu wechseln, während ich dem andern einen frischen Streifen vorgelegt habe, so müsste bei den vorhandenen gleichen Bedingungen am ersteren eine Steigerung der Färbung eintreten und zwar ein Scalagrad, welcher die Summe ist der ersten Reaktion plus der des frischen Streifens. Mitunter trifft dieses auch ein, doch nicht selten sah ich Unterschiede bis zu zwei Grad der Scala. Aehnliche Erfahrungen macht man beim Aufhängen von Ozonpapier im Freien; bald findet die Färbung in den ersten Stunden statt und scheint nicht mehr zuzunehmen, wiewohl bei genauerer Beobachtung ein langsamer Zuwachs oder gar eine Abnahme der Reaktion statt hat, bald tritt die Reaktion erst im Verlaufe von 24 Stunden allmählich ein. Ordnet man nun den Versuch in ähnlicher Weise an wie oben, so dass man zwei Streifen neben einander aufhängt, von welchen der eine nach mehreren Stunden mit einem frischen Streifen gewechselt wird, so hat man höchst selten an dem während der ganzen Versuchsdauer exponirten, die den beiden Versuchszeiten entsprechende Summe der Reaktion, ja diese Differenz beträgt oft bis 4 Grade. Ohne Zweifel liegt hier der Fehler im Reagens selbst, und zwar in einer theilweisen Verflüchtigung des Jods der schon gebildeten Jodstärke, welche nach den Angaben von Liebig[1]), Duclaux[2]) u. A. nicht als eine chemische Verbindung, sondern als ein Gemenge beider Stoffe zu betrachten ist. In dieser v n verschiedener Seite konstatirten störenden Erscheinung, welche ich

1) Annal. Pharm. 42, 308.
2) Compt. rend. 1872, Febr.

zumeist bei warmer, sehr feuchter Witterung und bewegter Luft beobachten konnte, begegnen wir einer weiteren Quelle für Trugschlüsse, welcher Fox mit Recht vollste Beachtung geschenkt hat, und fehlt in Anbetracht dieser durch ein Uebermaass der Luftfeuchtigkeit bedingten „Auslaugung" des Papieres, wie Berigny[1]) sich ausdrückt, jede Berechtigung aus den mitgetheilten Beobachtungen Böhm's ohne Weiteres den Schluss zu ziehen, dass der Grad der Luftfeuchtigkeit zu der Ozonproduktion der Atmosphäre ohne Beziehung ist.

Auch hier erweist sich das beschriebene Verfahren von Vortheil, indem bei einer schattigen kühlen Lage der Station und mässigen Luftgeschwindigkeit (ich arbeite mit etwa 50 L. per Stunde) kaum mehr eine Verflüchtigung des freigewordenen Jods zu befürchten ist.

Die Luft zuvor zu trocknen wäre durchaus unzulässig, weil ein gewisser Feuchtigkeitsgrad für das Zustandekommen der Reaktion unbedingt nöthig und beim Trocknen ein Verlust an Ozon nicht leicht zu vermeiden ist. Die Eigenthümlichkeit des Kaliumjodids in trockener Luft von Ozon nicht beeinflusst zu werden, deren Nachweis wir Engler und Nasse[2]) verdanken und die Verflüchtigung von Jod bei zu feuchter Luft sind sehr störende Momente, welche schwer sich ganz ausschalten lassen, weil man den der Reaktion entsprechenden Grad der Luftfeuchtigkeit nicht kennt und es kaum gelingen würde, die Luft jedesmal auf das fragliche Maass der Befeuchtung zu bringen. Es war in der Ozonoskopie bisher Brauch, die mit Hygrometer bestimmte Feuchtigkeit zu notiren, jedoch vermisse ich Angaben, nach welchen man, ähnlich wie es beim Windfehler versucht worden ist, diese mittelst Tabellen in Rechnung bringen könnte.

Anfangs hoffte ich die Anwendung einer Scala bei Schätzung des Ozongehaltes dadurch völlig umgehen zu können, dass als Maassstab die Luftmenge benützt wird, welche nöthig ist, um ein bestimmtes Maass der Bläuung des Papieres zu bekommen. Da sich aber bei der Beurtheilung der Reaktion das Befeuchten nicht

1) Compt. rend. 1863, II, 846.
2) Annal. Pharm. 154, 215.

umgehen lässt, und das Weiterarbeiten mit einem befeuchteten Papier, welches noch nicht genug gebläut erscheint, wegen der Jodverflüchtigung seine Inconvenienzen hat, bin ich von dieser Modification bald wieder abgekommen. Für meteorologische Zwecke scheint mir eine Eintheilung der Scala in nur fünf Grade zu genügen, nachdem ich mich überzeugt habe, dass für die Mehrzahl der Beobachter die Farbenstufen der mehrtheiligen Scalen zu wenig different sind, um die Schätzung des Beobachtungsresultats von Willkür frei sein zu lassen. Vielleicht gelingt es auch demnächst die Ozonoskope zu aichen, so dass der Färbungsgrad, wenn auch nur annähernd, uns den Ozongehalt der Luft in Zahlen ausdrückt, womit wir uns der Ozonometrie um einen Schritt nähern würden.

Zum täglichen Beobachten der Ozonschwankungen finde ich eine Versuchsdauer von 4 Stunden mit 250 L. Luft hinreichend, und würde ich den Apparat so einrichten, dass bei vermehrtem Ozongehalte, wie bei Gewittern, das Verfahren von 50 zu 50 L. unterbrochen werden kann, um zu sehen, wie weit die Reaktion vorgeschritten ist. Man kann am noch nicht befeuchteten Papier schon aus der Bräunung wenigstens annähernd erkennen, ob man den höheren Färbungsgraden nahe gekommen ist. Aus meinen Versuchen, bei welchen der Ozongehalt der Atmosphäre zwar zu andern Zwecken bestimmt und desshalb die Angabe von Versuchszeit und Witterungsverhältnissen unterlassen worden ist, erhellt, dass man mitunter nach der ersten Stunde einen der mittleren Grade der Scala erreicht, und finde ich in meinen Notizen eine unten nicht verwerthbare Beobachtung, dass ich schon mit 90 L. den höchsten Scalagrad bekommen habe. Es kann ein so hoher Ozongehalt der Luft nicht recht gewürdigt werden, wenn man bis zu 250 L. weiter arbeitet, da eine stärkere Jodstärkebildung nicht mehr schätzbar ist oder im Verlauf des Versuchs eine Verminderung der Reaktion wieder eintreten kann. Anderseits muss uns daran gelegen sein, die Versuchszeit möglichst kurz zu stellen, denn es wechselt die meteorologische Constellation mindestens von Stunde zu Stunde und wächst mit der Versuchsdauer die Tragweite der unvermeidlichen Fehler in der Beobachtungsweise.

Ich muss es Andern überlassen, diese Methode, welche manche

vielleicht recht zweckmässige Modification noch zulässt, in Diensten der Meteorologie zu verwerthen und auf Grund solcher regelmässiger Beobachtungen das Verhältniss von Morbilität zu Ozonschwankungen zu studiren; mir waren andere Fragen gestellt.

## II. Warum verliert die Luft ihr Ozon in geschlossenen Räumen?

Es stimmen die Beobachtungen von Heaton[1]), Burder[1]), Houzeau[2]) darin überein, dass in bewohnten Räumen selbst bei geöffneten Fenstern kein Ozon nachweisbar ist. Diese Thatsache des Ozonmangels war mancherlei Deutung fähig, doch glaubten die meisten Forscher in ihr den besten Beleg für die sanitäre Bedeutung des Ozons gefunden zu haben, zumal man besonderes Gewicht auf die Erfahrung legen konnte, dass Ozon in Krankenhäusern, besonders in den Sälen der fiebernden Kranken nie nachgewiesen wurde. Man nahm an, dass das Ozon die Luft reinige, indem es über der Oxydation der Exhalationen und Excrete der Kranken zu Grunde gehe und dass in den Wohnräumen, jenen Brutstätten für viele der Gesundheit schädlichen Agentien, das Zerfallen des Ozons manche Krankheit verhüte. Dem Ozon diese Rolle zuzuschreiben, ist man selbst heute noch geneigt, nachdem mit der Zeit mancherlei Erfahrungen bekannt geworden sind, welche unsere Kritik über eine solche Annahme hätte anregen können. So haben Berigny[1]), Scoutetten[1]) und E. Böckel[1]) für Krankenhäuser, Fox für Wohnräume den Ozonmangel zwar im Allgemeinen bestätigt, jedoch auch den Nachweis geliefert, dass in diesen Ozon vorkommen kann, wenn es auch bei starkem Ozongehalte im Freien dann nur in geringem Maasse gefunden wird, und betont Fox, dass in Wohnungen auf dem Lande und in Vorstädten, wo anerkanntermassen der Ozongehalt stärker ist als in Städten, ein empfindliches Reagenspapier schon bei geschlossenen Fenstern nach ein bis zwei Tagen deutlich die Gegenwart von Ozon anzeigt, weil der durch den Kamin unterhaltene Luftwechsel genügende Mengen

1) Bei Fox, 107.
2) Compt. rend. XLVI, 89.

Ozon beiführt, um eine Reaktion zu bekommen. Dieser von Fox nicht weiter verwerthete Gesichtspunkt legte mir die Frage nahe, ob nicht ein zu geringer Luftwechsel an und für sich den Grund abgibt für diese höchst auffällige Erscheinung. Ueberdies fand ich in der Literatur auch experimentelle Studien verzeichnet, welche ganz dazu angethan sind, zu einer Untersuchung in dieser Richtung anzuregen.

Es haben z. B. Houzeau[1]), de Pietra Santa[2]) beobachtet, dass Ozonpapier in Röhren, die nach Art der Eprouvetten an einem Ende geschlossen sind, sich in einer ozonhaltigen Atmosphäre nicht färbt, und es scheint besonders das Experiment von Pietra Santa dafür zu sprechen, dass die Reaktion nur aus Mangel eines genügenden Luftwechsels dabei nicht zu Stande kommt. Pietra Santa nahm 8 Streifen Ozonpapier nach Houzeau, wovon er Nr. 1 zum Vergleich zurückbehielt, während die übrigen der atmosphärischen Luft 12 Stunden in verschiedener Weise ausgesetzt wurden: Nr. 2 ganz im Freien, Nr. 3 von Wind mehr geschützt an der Seite eines Fensters, Nr. 7 in einem grossen Zimmer, Nr. 4, 5, 6 an einem Faden in einer 30 Centimtr. langen und 5 Centimtr. weiten Eprouvette so eingelassen, dass Nr. 4 am Eingange, Nr. 5 15 Centimtr. tiefer und Nr. 6 am Boden sich befand; Nr. 8 wurde in der Mitte einer anderen Eprouvette untergebracht und mit Luft gefüllt sofort geschlossen. Nun ergab

Nr. 2 . . . . 20 Grade der Berigny'schen Scala.
3 . . . . 18
4 . . . . 7
5 . . . . 3
6 . . . . 1
7 . . . . 4
8 . . . . zwischen 0 und 1

und stellte sich so die Färbung des Papiers in demselben Verhältnisse dar, als der Luftwechsel ein stärkerer war. Houzeau dagegen leitete bei einem ähnlichen Experimente in eine Eprouvette

1) Compt. rend. LVIII, 798.
2) Compt. rend. LVIII, 1158.

das 5000fache Volumen atmosphärischer Luft ein, ohne eine Reaktion zu bekommen, und ist geneigt den Luftwechsel für irrelevant zu halten. Wenn wir nun erwägen, dass in diese Eprouvette, welche mehr als 30 Kubikcentimtr. kaum wird gefasst haben, etwa 150 L. Luft geleitet wurden, so kam damit eine Luftmenge zur Anwendung, welche nur bei einem vermehrten Ozongehalt der Atmosphäre die Reaktion zu Stande bringt. Von der Richtigkeit der Annahme, dass Houzeau bei fortgesetzter Zuleitung ozonhaltiger Luft in der Eprouvette eine Reaktion bekommen haben müsste, konnte ich mich durch einige Versuche überzeugen, welche ich in der Art anordnete, dass in eine 62 Centimtr. lange, 1.7 Centimtr. weite, wohlgereinigte Eudiometerröhre das Ozonpapier eingelassen und die Aspiration des Untersuchungsapparates gleichzeitig als Motor für den Luftwechsel ausgenützt wurde. Um Gummiverbindungen dort auszuschliessen, wo sie den Ozongehalt hätten beeinflussen können, wurde die Eudiometerröhre mit einem Futteral umgeben, statt der Ozonbüchse eine lange reine Glasröhre von 10 Centimtr. äusserem Durchmesser eingeführt, über deren freies Ende ich das Ozonpapier mit frischbereitetem Stärkekleister klebte, und mit Gasuhr und Sauger in Verbindung gebracht. Mit diesem setzte ich gleichzeitig den gewöhnlichen Apparat zur Bestimmung des Ozongehaltes der Atmosphäre am nämlichen Orte in Gang. Nachdem so das eine Ozonoskop in 10½, das andere in 11 Stunden 755 L. Luft (etwa das 3500fache Volumen der Eudiometerröhre) passirt hatten, war beiderseits der Scalagrad VI, als vollkommen gleiche Reaktion eingetreten. Ich werde unten von weiteren derartigen Versuchen noch zu reden haben.

In der That fand ich auch im Resultat einer grösseren Versuchsreihe, welche ich in bewohnten und unbewohnten Räumen angestellt habe, genügendes Beweismaterial für die Behauptung, dass die Grösse des Luftwechsels für das Eintreten einer Ozonreaktion in geschlossenen Räumen von Belang ist. Wenn ich nach der beschriebenen Manier untersuchte, bekam ich nur an solchen Tagen eine Reaktion, an welchen durch heftige Stürme, Schneegestöber, hohe Temperaturdifferenz der freiwillige Luftwechsel gesteigert und der Ozongehalt im Freien ein reichlicher war. Waren

dagegen diese begünstigenden Momente nicht gegeben, was in der Mehrzahl der Beobachtungstage der Fall war, so konnte ich über das Papier ohne eine Spur von Reaktion bis 12000 L. Luft leiten, wenn auch zu gleicher Zeit im Freien mir 500 L. schon deutliche Reaktion gegeben hatten. Aus dieser Erfahrung durfte ich schliessen, dass die Gösse des Luftwechsels ein wesentlicher Faktor ist für das seltene Auftreten einer Ozonreaktion in geschlossenen Räumen. Die Unzulänglichkeit des Luftwechsels aber als einzige Ursache für das Ausbleiben der Reaktion anzusprechen, glaubte ich kein Recht zu haben, weil man sonst in gut gelüfteten Zimmern mit der gleichen Menge Luft wie aus dem Freien eine Ozonreaktion erhalten müsste, was keineswegs der Fall ist; denn man erreicht nicht die gleiche Reaktion wie im Freien mit dem vierfachen Quantum Luft. Auf einer langen Beobachtungsreihe mag der nachstehende Fall als Beleg dienen:

| | Volumen | Scalagrad | Witterung |
|---|---|---|---|
| Luft aus dem Freien | 500 | X | Sturm, Gewitter |
| „ „ einem Saale | 2171 | IV | |
| „ „ „ Zimmer | 2019 | IV | |

Um diesen deletären Einfluss geschlossener Räume auf den Ozongehalt der Luft experimentell zu verfolgen, hatte ich zwei Wege vor Augen: entweder musste die Wirkung des Ozons aus der Grösse der durch einen künstlich vermehrten Ozongehalt gesetzten Oxydationsprozesse (etwa aus dem Verhalten der Kohlenwasserstoffe) bestimmt oder mit einer einigermassen constanten künstlichen Ozonquelle der Ozonverlust aus dem Gange der Ozonisirung einer Zimmerluft studirt werden. Die Durchführung des ersteren Untersuchungsganges, von dem ich mir das verlässigere Resultat versprach, stiess leider auf mancherlei technische Schwierigkeiten, so dass ich vorläufig mich mit dem letzteren begnügen musste. Dass nicht jede Ozonquelle zu diesem Zwecke taugt, liegt auf der Hand; es soll die Ozonentwicklung eine annähernd gleich-

mässige sein, so dass entweder deren Dauer oder das zur Ozonbereitung verbrauchte Material für das im Versuche angewandte Quantum Ozon einen Maassstab abgeben kann, und muss in letzterem Falle, um die Ozonentwicklung nach Belieben sistiren zu können, die Menge des verbrauchten Materiales bestimmbar sein. Die uns bekannten Ozonquellen sind entweder solche, welche wie das Terpentinöl u. A. als sogenannte Ozonträger der Luft das Ozon nehmen und auf andere Substanzen übertragen, oder sie besitzen wie die Electricität die Fähigkeit, den Sauerstoff der Atmosphäre zu ozonisiren, mit anderen Worten, den zweiatomigen Sauerstoff ($\Theta$ $\Theta$) zum Theil in dreiatomigen ($\Theta$ $\Theta$, $\Theta$) zu verwandeln und so zur raschen Oxydation anderer Substanzen besonders zu disponiren, indem bei dieser Aenderung der Atomgruppirung von dem dreiatomigen Sauerstoffmolecül, dem Ozon, das dritte Sauerstoffatom zu Oxydationsvorgängen mit grösserer Leichtigkeit abgegeben wird, als der gewöhnliche zweiatomige Sauerstoff chemische Verbindungen eingeht. Ausser diesen beiden Gruppen steht noch eine dritte für die Ozonbereitung zu Gebot, worunter man jene hoch oxydirten chemischen Verbindungen rechnen kann, welche bei einer Zersetzung ihren Sauerstoff zum Theil als Ozon freigeben, wie das Kaliumpermanganat die Fähigkeit hat, Ozon zu entwickeln, wenn es mit Schwefelsäurehydrat zusammengebracht wird. Von allen Ozonquellen würde sich für meinen Zweck die Elektrizität wohl am besten geeignet haben, doch musste ich auf deren Anwendung verzichten, weil zur Bereitung grösserer Ozonmengen genügend starke Apparate nicht zur Hand waren. Dadurch sah ich mich auf den chemischen Weg der Ozonbereitung angewiesen, und wählte ich den Schwefeläther (Aethyloxyd), nachdem ich aus den Vorversuchen über dessen Verwendbarkeit glaubte die Erfahrung gewonnen zu haben, dass mit der Ozonentwicklung seine Verdunstung gleichen Schritt hält.

Meine Versuche stellte ich so an, dass ich in einem seit Wochen nicht gelüfteten Zimmer mittelst Gasometer einen sehr schwachen Luftstrom (etwa 4 L. per Stunde) über eine bestimmte Menge Aether leitete und unter möglichster Vermeidung von Gummiverbindungen den sich bildenden Aetherdampf durch eine im Wasserbade auf

100° C. gehaltene Liebig'sche Trockenröhre schickte. Diese Ozonentwicklung geschah jedesmal nur am Tage, während ich in der Nacht deren Effekt zu bestimmen suchte. Ich musste anfangs über 550 Kubikcentimtr. Aether innerhalb 5 Tagen allmählich zur Verdunstung bringen, um an den im Zimmer vertheilten Reagenspapieren eine Reaktion zu bekommen. Vor Beginn des Versuches gaben über 2000 L. Luft noch keine Färbung, während ich erst am 5. Tage des Versuches schon mit 180 L. den Scalagrad VII fand, zu welcher Zeit im Freien mit 250 L. diese Färbung nicht erreicht wurde. Nachdem dieses constatirt war, lüftete ich einige Stunden das Zimmer und prüfte nach mehreren Tagen wieder, wie viel Luft ich nun zu einer Reaktion brauchte. Während ich zu dieser Zeit in dem nahe gelegenen Saale kein Ozon nachweisen und mit 330 L. Luft aus dem Freien den Scalagrad V sehen konnte, brauchte man zu dieser Färbung im Versuchsraume 610 L. Nach 8 Tagen war nun im Zimmer der Ozongehalt mehr und mehr verloren gegangen, doch gelang es mir noch eine Zeit lang mit kleineren Mengen Aether (50 bis 100 Kubikcentimtr.) die Ozonisirung für mehrere Stunden wiederherzustellen.

Bei der Beurtheilung dieses Ergebnisses, könnte man sich zur Meinung neigen, dass im Versuche die Ozonproduktion für eine rasche Ozonisirung des Zimmers nicht genügend gewesen sei und das Ozon innerhalb 5 Tagen sich habe erst nach und nach in genügender Menge aufstapeln müssen, um überall im Zimmer eine Reaktion zu geben. Zieht man dagegen in Betracht, dass vermöge der Diffusion und des raschen Zerfalles des Ozons an ein Ansammeln desselben nicht gut zu denken ist, so wird diese Erklärung sehr an Werth verlieren und gewinnt mehr die Annahme Halt, dass im Anfange der Ozonisirung das Ozon für Oxydationsvorgänge solange rasch zu Verlust geht, bis das Oxydationsbedürfniss der zur Ozonabsorption am besten angelegten Substanzen einigermassen gedeckt ist. Dafür könnte auch die Erscheinung sprechen, dass mit der Verdunstung relativ kleiner Aethermengen die Ozonisirung der Zimmerluft sich rasch wieder herstellen liess, wann der Effekt der ersten Aetherverdunstung schon nicht mehr nachweisbar war.

Bevor ich zu einer anderen Versuchsreihe übergehe, will ich in Kürze jene Erfahrungen hier einschalten, welche ich aus der Voruntersuchung über die Verwendbarkeit des Aethers zur Ozonbereitung gewonnen habe.

Ein in frisch bereitetes Aethyloxyd gebrachter Streifen Kaliumjodidkleisterpapier färbt sich nicht und tritt die Reaktion erst dann ein, wenn das so befeuchtete Reagens behufs Verdunstung des Aethers in der Luft hin und her bewegt wird, dagegen bekommt man in älterem Aether die Bräunung schon ohne Verdunstung; bei frisch bereitetem Aether muss man das angegebene Verfahren mitunter einigemal wiederholen, um die Bräunung deutlich zu bekommen. Die direkte Einwirkung von altem Aether auf Kaliumjodidpapier beruht nun keineswegs stets auf einem Gehalte an Ozon, welches der Aether als Ozonträger mit der Zeit absorbirt hat, sondern man findet mitunter Präparate, welche statt Ozon Wasserstoffdioxyd enthalten. Fox[1]) hat dieses von dem in England gebräuchlichen Ozonäther Richardson's nachgewiesen und kam auch mir eine Aethersorte unter die Hand, welche alle Kennzeichen des Wasserstoffdioxyd bot. Von diesem Aether wurden sehr verdünnter Kaliumjodidkleister erst nach Zusatz einer schwachen Eisenvitriollösung sofort dunkelblau und eine verdünnte Chromsäurelösung himmelblau gefärbt, eine mit Schwefelsäure angesäuerte schwache Kaliumpermanganatlösung und eine verdünnte Indigolösung nach Zusatz einiger Tropfen Eisenvitriol entfärbt. Im Gegensatz zum frischen Aether reagirte dieser wie die meisten älteren Aether (auch die mit Ozon beladenen) schwach sauer, sein Destillat zeigte, wenn die Destillation behutsam unter der Siedetemperatur eingeleitet wurde, von Wasserstoffdioxyd keine Spur mehr und hatte die Eigenschaften des frisch bereiteten Aethers. Gerade letzterer Umstand könnte dafür sprechen, dass bei der Verdunstung eines Wasserstoffdioxyd haltigen Aethers die Ozonbildung in den Vordergrund tritt und das Wasserstoffdioxyd ausser Rechnung bleiben darf. Uebrigens halte ich es immerhin für zweckmässig, sich eines ozonhaltigen alten Aethers zu bedienen, welchen man zu einer Versuchsreihe in

1) Bei Fox p. 28.

genügendem Vorrath sich beschafft, um die Sorte nicht wechseln zu müssen. Neben der Eigenthümlichkeit des Aethers ein Ozonträger in engerem Sinne zu sein, besitzt er, wie das Terpentinöl u. A., auch die Fähigkeit den Sauerstoff der Luft in seinen Verdunstungsprozess hereinzuziehen und als Ozon freizugeben; dafür scheinen auch die Beobachtungen Ellery's[1]) zu sprechen, nach welchen man im luftleeren Raum von einem Aether, der sonst bei reiner Verdunstung in der Luft Ozon lieferte, keine Ozonreaktion bekam.

Wenn ich je 50 Kubikcentimtr. Aether in zwei 250 Kubikcentimtr. fassende Flaschen gab, von welchen die eine aus schwarzem, die andere aus weissem Glase war, und denselben je eine Ozonbüchse von gleichem Kaliber aufsetzte, so trat im Sonnenlicht beim schwarzen Glase eine ungleich stärkere Ozonreaktion ein und zwar stand die Färbung des Reagens mit der Menge des verdunsteten Aethers in direktem Verhältnisse. Dagegen trat in beiden Gläsern gleich starke Reaktion ein, wenn ich dieselben bei diffusem Tageslicht in einem Wasserbade mit etwa 20° C. gehalten und auf diese Weise gleiche Aethermengen zur Verdunstung gebracht hatte. Mit diesem Versuch war mir wahrscheinlich gemacht, dass die Stärke der Ozonentwicklung des Aethers auf einer gesteigerten Verdunstung beruhe und dass die Verdunstungsmenge mir zum Maassstab für die Ozonisation eines Raumes werden könnte.

Um nun mich zu vergewissern, ob die im Experimente sonst beliebte glühende Platinspirale nur die Rolle eines Wärmeträgers spiele und durch einen glühenden Glasstab, wie Fox angibt, vollkommen ersetzt werden kann, ordnete ich folgenden Versuch an: In einem Wasserbade setzte ich zwei kleine Liebig'sche Trockenröhren mit Ozonbüchseaufsatz einer Temperatur von etwa 25° C. aus, von welchen jede 10 Kubikcentimtr. Aether, eine ausserdem eine Platinspirale enthielt, und schickte mittelst Gasometer durch jede 1.5 L. Luft mit annähernd gleicher Geschwindigkeit. Beiderseits fand ich bei der gleichen Verdunstung von 7 Kubikctm. Aether den Scalagrad IX und zeigten in ferneren Proben sich Differenzen nur,

---

1) Bei Fox, 28.

wenn nicht die gleichen Mengen Aether verarbeitet worden waren In einer anderen Versuchsreihe modificirte ich das Verfahren dahin, dass die Luft auf 25° C. erwärmt über den Aether und nachher durch die auf 100° C. gehaltenen Trockenröhren geleitet wurde; die Verhältnisse blieben sich gleich, insofern die Trockenröhre mit der Platinspirale keinen grösseren Effekt zeigte als die andere, doch glaubte ich auf eine bessere Ausbeute des Aethers mit dieser Manier gekommen zu sein. Nur liegt, wie ich mich später überzeugte, der Grund des höheren Nutzeffektes dieses Verfahrens nicht allein darin, dass der Aetherdampf noch auf eine höhere Temperatur gebracht wird, sondern auch in dem Umstande, dass dabei mehr Luft mit dem Aether in Kontakt gebracht werden muss, um die gleiche Aethermenge zu verarbeiten, wie bei der direkten Erwärmung des Aethers. Von besonderem Belang für die Ausbeute scheint mir, soweit sich mit Schönbein's Papier als Prüfstein dies beurtheilen lässt, auch zu sein, die Luft mit keiner grösseren Geschwindigkeit als 4 L. per Stunde über den Aether zu leiten und kann der Nutzeffekt noch erhöht werden, wenn man statt Luft Sauerstoff nimmt. Auch der Wassergehalt der Luft mag nicht ohne Bedeutung sein, indem ich von verhältnissmässig geringen Aethermengen sofort starke Reaktion bekam, wenn ich statt Luft heisse Wasserdämpfe über Aether streichen liess.

Aehnliche Erfahrungen habe ich mit der Anwendung des officinellen Acetum aromaticum als Ozonquelle gemacht, nur war die Ozonentwicklung weniger ergiebig als die von altem Aethyloxyd. Auch die Verdunstung von Kölnischem Wasser lieferte mir Ozon, wenn auch nicht so reichlich, dass sie in meinen Versuchen hätte Verwerthung finden können.

Das Ergebniss der über den Ozonverlust in geschlossenen Räumen im Grossen angestellten Versuche erinnerte mich an die Erfahrung Palmieri's[1]), dass Luft, wenn sie durch lange Glasröhren geleitet wird, ihren Ozongehalt zum Theil einbüsst, was nach einer Mittheilung von Sainte-Claire Deville[2]) auch

1) Compt. rend. 1872, 1266.
2) Ibidem 1267.

Houzeau mit reinem Ozon gesehen und aus der Reibung der Luft an den Wandungen der Glasröhre erklärt hat. Mit dieser Deutung nicht einverstanden, unterzog Fox[1]) das Experiment einer weiteren Prüfung, indem er mittelst zwei Aspiratoren atmosphärische Luft durch zwei Glasröhren von verschiedener Länge leitete. Beide Röhren waren von gleichem Kaliber, die eine $1^1/_3$ Zoll lang, die andere 10 Fuss und hatte einige Krümmungen; zum Ausgleich des grösseren Reibungswiderstandes gab man dem durch die längere Röhre gehenden Luftstrom eine grössere Geschwindigkeit. In all seinen Versuchen fand nun Fox eine Bestätigung der Houzeau-Palmieri'schen Erfahrungen, es zeigte die Luft, welche die längere Röhre passirt hatte, stets einen geringeren Ozongehalt. Um nun der Ursache dieser Erscheinung näher zu kommen, benützte Fox die Erfahrung Pasteur's und legte vor die lange Röhre einen Baumwollepfropf, so dass die Luft, ehe sie in die Glasröhre eintrat, eine Filtration von ihren suspendirten Bestandtheilen zu bestehen hatte. Unter diesen Umständen war die Differenz in der Färbung der Ozonoskope nur eine geringe und schliesst Fox auf Grund der von Pasteur Angus Smith u. A. für Glasröhren nachgewiesenen Eigenthümlichkeit, aus einem Luftstrome die Verunreinigungen an ihren Wandungen niederzuschlagen, dass diese es sind, welche das Ozon für ihre Oxydirung absorbiren. So wahrscheinlich diese Erklärungsweise mir erschien, mit dem Beweisverfahren konnte ich mich nicht einverstanden erklären, denn plausibel ist es keinesfalls, dass die sich allmählich im Baumwollepropf ansammelnden Verunreinigungen das Ozon unbehelligt durchlassen sollten, während dieselben Substanzen an den Wandungen der Glasröhre fein vertheilt dem Ozon sich gefährlich erweisen. Einigen Einblick schien mir aus einer Fortsetzung des oben beschriebenen Houzeau nachgeahmten Versuchs erwachsen zu können, wesshalb ich diesen Weg noch einmal betrat.

Für den ersten Versuchstag, an welchem die Glasröhre vollständig ohne jeden Einfluss auf die Reaktion war, hatte ich den Apparat erst nach der sorgfältigsten Reinigung in Gang gesetzt

---

1) l. c. 267.

und erschien die Luft nach einem Regenguss auffallend rein. Da ich annehmen musste, so unter abnorm günstigen Bedingungen gearbeitet zu haben, liess ich während einiger Tage durch das Eudiometer Luft streichen, um dessen Wandungen mit Verunreinigungen zu beschlagen, was ich mit 3397 L. glaubte erzielt zu haben. Aber auch in den unter solchen Verhältnissen angestellten Versuchen konnte ich nur eine Bestätigung des ersten Resultats finden.

| | Luft im Eudiometer | | Luft im Freien | | Witterung |
|---|---|---|---|---|---|
| | Volum | Scalagrad | Volum | Scalagrad | |
| Nr. 1 | 593 L. | VIII | 592 L. | VIII | Sonne nach Regen |
| 2 | 458 | VII : VIII | 456 | VII | „ „ „ |

Um dem Einwande zu begegnen, dass die benützte Eudiometerröhre zu weit war, als dass sie eine genügende Reibung der durchstreichenden Luft hätte setzen können, zog ich eine engere in Anwendung, welche zwischen der inneren Glasröhre nur wenig Spielraum liess; der innere Durchmesser der neuen Eudiometerröhre war 12 Millimtr., der äussere Durchmesser der inneren Röhre 10 Millimtr., wie ich oben schon angegeben habe.

| | Luft im Eudiometer | | Luft im Freien | | Witterung |
|---|---|---|---|---|---|
| | Volum | Scalagrad | Volum | Scalagrad | |
| Nr. 3 | 977 L. | VII | 772 L. | IX : X | schwül |
| Nr. 4 | 257 | VI | 257 | VI | nach einem Gewitterregen |

Das überraschende Ergebniss des Versuchs Nr. 3 war ganz dazu angethan für die Houzeau'sche Behauptung einzunehmen; denn was anders sollte die grosse Differenz bewirkt haben, als die vermehrte Reibung der Luft. Doch schon mit dem nächsten Versuch (Nr. 4) verlor diese wieder allen Halt; in der Eudiometerröhre hatte die Luft keine Einbusse an Ozon mehr erlitten, obschon die Bedingungen für die Reibung der Luft die gleichen geblieben

waren. Zu einem weiteren Versuch führte ich nun 4890 L. Luft durch die Röhre, um sie mit Verunreinigungen zu beschlagen, und fielen die letzten 200 L. dieses Luftwechsels in die Zeit eines ozonreichen Gewitterregens, was ich nicht unerwähnt lassen darf. Auffallenderweise war auch jetzt die Eudiometerröhre so bestellt, dass sie der Luft kein Ozon nahm, wann gleich ihr Inneres mit Staub sichtlich beschlagen und die Gelegenheit zur Reibung der Luft an der Wandung dadurch eher vermehrt war; von 184 L. Luft bekam ich beiderseits den Scalagrad V (Versuch Nr. 5).

Sollte nicht diese Beobachtung den Schlüssel geben können, für das Räthsel der im Versuch Nr. 3 mit engerer Röhre gemachten Beobachtung. Es war an diesem Tage schwüles Wetter, die Luft staubig, der Ozongehalt gering, dagegen führte zu Ende des Luftwechsels, welchen ich dem letzten Versuch vorausschickte, die Luft viel Ozon und war dieselbe durch den Gewitterregen rein gewaschen, so dass ich mich zur Vermuthung berechtigt fühlte, es sei im letzteren Falle durch den stärkeren Ozongehalt während des Gewitters der Beschlag im Eudiometer für den Versuch Nr. 5 unschädlich gemacht worden, während bei der Beobachtung Nr. 3 ein Theil des Ozons zur Deckung des dem Ozon verderblichen Staubes habe herhalten müssen.

Da zufolge dieser Erfahrung der Staub je nach dem Ozongehalte der Luft, welche ihn in eine Glasröhre einführt, schon mehr weniger unschädlich gemacht erscheint, blies ich mittelst einer Glasröhre in das Eudiometer Strassenstaub, von welchem eine Probe mit Natronkalk geglüht starke Ammoniakreaktion gegeben hatte. Das Ergebniss war schlagend: Während ich in diesem 6. Versuch mit 155 L. Luft aus dem Freien den Scalagrad VI bekam, gab die Eudiometerröhre nur III : IV. Hierauf ventilirte ich über Nacht mit 853 L. und fand in einer 7. Beobachtung beiderseits mit 177 L. Luft den Scalagrad VI. Zum Nachweis, dass es die organischen Bestandtheile des Staubes sind, welche der Luft Ozon nehmen, wiederholte ich den vorletzten Versuch mit einer Dosis dieses Strassenstaubes, welche ich zuvor geglüht hatte. Durch das Glühen war derselbe durchaus unschädlich geworden, beiderseits bekam ich in diesem 8. Versuch mit 216 L. Luft den Scalagrad V. Im Weiteren

stellte ich mir die Frage, ob im 6. Versuch das Oxydationsbedürfniss des Staubes von dem zu Verlust gegangenen Ozon vollständig gedeckt und der nachträgliche Luftwechsel nicht überflüssig war.

| | Luft im Eudiometer | | Luft im Freien | | Witterung |
|---|---|---|---|---|---|
| | Volum | Scalagrad | Volum | Scalagrad | |
| Nr. 9 | 155 L. | III | 155 L. | VI | Sonne nach Regen |
| 10 | 159 | V | 159 | V | " " " |

Die Versuche Nr. 9 und 10 nehmen jeden Zweifel, dass das im Eudiometer zu Verlust gehende Quantum Ozon zur Oxydation des Staubes und zwar zur völligen Deckung seines Oxydationsbedürfnisses verbraucht wird.

In einem 11. und 12. Versuch habe ich beobachtet, dass das Ozonoskop sich nicht gleichmässig färbt, wenn der Staub mehr auf einer Seite der Eudiometerröhre sich angesetzt hatte und zwar entsprach die schwächere Reaktion jedesmal der stärker bestaubten Seite. Schliesslich darf ich aus dieser Versuchsreihe die Erfahrung nicht unerwähnt lassen, dass die oberste Schichte des Staubes, nachdem er bei einem stärkeren Ozongehalt der atmosphärischen Luft am offenen Fenster etwa 12 Stunden gestanden war, die Fähigkeit Ozon zu absorbiren verloren hatte.

Nachdem aus diesen Ozonstudien mir die Ueberzeugung geworden war, dass auch die in unsere Wohnräume einströmende Luft je nach dem Verhältniss von Ventilationsgrösse und Ozongehalt zur Menge der deletären Substanzen an Ozon Verlust erleidet, war es meine Aufgabe, nach dem Sitz dieser Stoffe in den Wohnräumen selbst zu suchen. Vor Allem hoffte ich denselben in den Wegen der freiwilligen und künstlichen Ventilation zu finden und suchte als Grundlage für diese Versuchsreihe festzustellen, ob nicht die Baumaterialien als solche ozonzerstörende Wirkung äussern. Von diesen unterzog ich vorläufig nur den Mörtel einer eingehenden Prüfung, weil mit ihm die Luft am meisten in Berührung kommt, sowohl in der freiwilligen Ventilation, bei welcher dieselbe seine Poren

passiren muss, als auch im künstlichen Luftwechsel, welcher zumeist durch Kanäle mit Mörtelauskleidung stattfindet.

Zuerst musste das Verhalten der einzelnen Bestandtheile des Mörtels studirt werden, zu welchem Zweck ich kleine Liebig'sche Trockenröhren mit Kalkhydrat, kohlensaurem Kalk, Sand in geglühtem und ungeglühtem Zustande füllte und vergleichende Bestimmungen des Ozongehaltes der durch dieselben geleiteten Luft machte. Ich constatirte auf diese Weise in mehreren Versuchen, dass Kalk weder als Kalkhydrat noch als Kalkcarbonat den Ozongehalt beeinflusst, dass dagegen der ungeglühte Sand je nach seiner Reinheit mehr weniger Ozon für sich in Anspruch nimmt. Dass der 3. Bestandtheil des Mörtels, das Wasser[1]), Ozon zu absorbiren vermag, ist eine durch die Untersuchungen von Carius[2]) erwiesene Thatsache; mir ist jedoch der sichere Nachweis nicht gelungen, dass freies Wasser im Mörtel der Luft Ozon nimmt, weil eine Differenz in der Reaktion ebenso gut dadurch entstehen kann, dass die Luft mit der beim Passiren des Mörtels aufgenommenen Feuchtigkeit das freie Jod des Reagenspapiers zum Theil auswascht.

Ich kann hier ein darauf anwendbares Resultat eines Versuches einreihen, welcher zwar nur zum Nachweis angestellt worden war, dass die Einwirkung des Ozons auf Kaliumjodidkleisterpapier auch in einer Luft stattfindet, welche ihrer Kohlensäure beraubt ist. Die Luft war zu diesem Zwecke einerseits durch eine Glasröhre mit Bimsteinstücken geleitet, welche geglüht und in Kalilauge getränkt, anderseits durch eine gleichgrosse Glasröhre mit Bimstein von gleichem Korn, der geglüht und mit Wasser befeuchtet worden war.

| Luft über Wasser | | Luft über Kalilauge | |
|---|---|---|---|
| Volum | Scalagrad | Volum | Scalagrad |
| 700 L. | III | 700 L. | VI |

1) Ich nahm zur Mörtelbereitung nur zuvor gekochtes Wasser.

2) Deutsch-chem. Gesellsch. Ber. 1872, 520.

Für die Prüfung des Mörtels auf sein Verhalten zum Ozon hatte ich aus meinen mit Kleidungsstoffen angestellten Versuchen gelernt die Ozonbüchse zu verwenden, indem ich der Hülse das Untersuchungsobjekt so aufsetzte, dass die Luft, ehe sie zum Reagens kam, zuerst dieses passirt haben musste. Nebenbei bemerkt, habe ich bei diesen Versuchen beobachtet, dass rein gewaschenes Leinen- oder Baumwollenzeug Ozon unbehelligt durchlässt, während dieselben Stoffe durch Tragen verunreinigt der Luft Ozon nehmen.

In den Mörtelversuchen goss ich nun in Glasröhren von derselben Grösse und Form, wie die als Hülse der Ozonbüchse beschriebene, verschieden dicke Pfröpfe aus Mörtel von geglühtem und ungeglühtem Sand und liess diese an einem staubfreien Orte mehrere Monate austrocknen. Für die Untersuchung dieser Präparate wurden die mit Mörtelpropf versehenen Glasröhren statt der Hülsen aufgesetzt und der Apparat vor Beginn des Versuches stets auf die Dichtheit der Verbindungsstücke geprüft.

| Dicke der Präparate | Luft aus Mörtel von geglühtem Sand | | Luft aus Mörtel von ungeglühtem Sand | | Luft aus dem Freien | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Volum | Scalagrad | Volum | Scalagrad | Volum | Scalagrad |
| 1 Cm. | 56 L | IV | 56 L. | IV | — | — |
| 2 | 56 | VI | 56 | VI | — | — |
| 3 | 56 | 0 | 56 | 0 | — | — |
| 3 | — | — | 56 | 0 | 56 L. | V |
| 3 | 440 | 0 | — | — | 440 | IX |
| 3 | 200 | 0 | — | — | 200 | X |
| 3 | 880 | 0 | 880 | 0 | — | — |

Aus dieser Versuchsreihe, in welcher nur Präparate von demselben Korn benutzt worden waren, fällt vor Allem auf, dass der unreine Sand im Mörtel die Fähigkeit verloren hat, Ozon zu absorbiren und scheint der destruirende Einfluss des Kalkhydrates gegenüber den dem Ozon verderblichen Stoffen zur Geltung zu kommen. Um dem Gang der Untersuchung nicht vorzugreifen, gebe ich weiter unten einige Versuche, welche ich mit Strassenstaub - Kalkhydrat und Strassenstaub - Calciumcarbonat angestellt habe.

Nächst dieser Erfahrung schien zu resultiren, dass mit der Dicke der Mörtelschichte der Einfluss auf den Ozongehalt der durchgeleiteten Luft wächst: während 2 Centimtr. Mörtel dem Ozon noch nichts anhaben konnten, lassen 3 Centimtr. Mörtel Ozon schon nicht mehr durch. Ich nahm daraus Veranlassung neue Präparate zu 3 und 4 Centimtr. Dicke herzustellen, überzeugte mich aber schon bei der Prüfung der ersteren, dass die Dicke der Mörtelschichte an dem Befund nicht Schuld gewesen sein kann.

(Dicke der Präparate 3 Centimtr.)

| Luft aus Mörtel von geglühtem Sand | | | Luft aus Mörtel von ungeglühtem Sand | | | Luft aus dem Freien | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Präparat | Volum | Scalagrad | Präparat | Volum | Scalagrad | Volum | Scalagrad |
| A | 600 L. | 0 | — | — | — | 600 L. | VI |
| — | — | — | B | 720 L. | IV : V | 720 | V |
| A | 536 | 0 | B | 536 | VI | — | — |

Um darüber vollkommen beruhigt zu sein, dass nicht etwa eine Verwechslung der Präparate oder ein ungleicher Wassergehalt derselben obwalte, brachte ich beide im Verbrennungsofen zum Rothglühen und wiederholte den Versuch. Das Glühen war ohne jeden Einfluss, mit 320 L. Luft gab *B* den Grad IV der Scala, *A* wieder keine Reaktion. Also musste die Ursache dieser Differenz in einem andern Unterschied der Präparate gesucht werden. Es waren die Bestandtheile derselben gleich, der Sand von gleichem Korn, die Mischungsverhältnisse kaum merklich verschieden, nur bezüglich der Permeabilität war mir vor dem Glühen schon während der Versuche aufgefallen, dass ich für *B* mit schwächerem Druck arbeiten musste, um gleichen Schritt mit dem Luftstrome für *A* halten zu können.

In der Folge nahm ich daher auf den Permeabilitätsgrad Rücksicht und werde im Weiteren für jedes einzelne Präparat angeben, wie viel Liter Luft es bei einem Druck von 0.7 Millim. Quecksilber durchlässt.

(Dicke der Präparate 3 Centimtr.)

| Luft aus Mörtel von geglühtem Sand | | | | | | | | Luft aus dem Freien | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Präparat | Permeabilität | Volum | Scalagrad | Präparat | Permeabilität | Volum | Scalagrad | Permeab. der Ozonbüchse | Volum | Scalagrad |
| A | 52.8 L | 322 L. | 0 | B | 124.8 | 322 L | I : II | 203 L | 330 L | II |
| C | 16.8 | 1434 | IV | D | 81.6 | 1431 | X | | | |

Durch *C* leitete ich nun Ozon, das ich nach Böttger's[1]) Angabe aus Kaliumpermanganat und Schwefelsäure bereitete, um die Ozon absorbirenden Stoffe zu sättigen, welche in demselben vermuthlich enthalten waren und untersuchte nach gehöriger Lüftung des Präparats aufs Neue:

| Luft aus Mörtel von geglühtem Sand | | | | | | | | Luft aus dem Freien | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Präparat | Permeabilität | Volum | Scalagrad | Präparat | Permeabilität | Volum | Scalagrad | Permeab. der Ozonbüchse | Volum | Scalagrad |
| C | 16.8 L. | 171 L | I | D | 81.6 L. | 171 L. | VI | — | — | — |
| C | „ | 177 | II | D | „ | 177 | VII | — | — | — |

Dieses Resultat bestärkte mich in der Vermuthung, dass das Ausbleiben der Ozonreaktion durch mechanische Ursachen zu Stande komme und nicht eine Absorption des Ozons zu Oxydationsvorgängen im Mörtel stattfinde, weil sonst durch die Ozonisirung eine Sättigung des Oxydationsbedürfnisses hätte hergestellt werden können. Sollte Houzeau schliesslich doch im Rechte sein, wenn er das Ausbleiben der Reaktion in Glasröhren aus der vermehrten Reibung zu erklären sucht? Allerdings sind die angegebenen Permeabilitätsgrade reciproke Werthe für die Reibung und schienen die vorstehenden Versuche dafür zu sprechen, dass mit der Verminderung der Permeabilität oder der erhöhten Reibung

1) Journ. pr. Chem. 86, 377.

Nächst dieser Erfahrung schien zu resultire
Dicke der Mörtelschichte der Einfluss auf den Oz
geleiteten Luft wächst: während 2 Centimt
noch nichts anhaben konnten, lassen 3 Cen
nicht mehr durch. Ich nahm daraus Ve
zu 3 und 4 Centimtr. Dicke herzuste
schon bei der Prüfung der ersteren
schichte an dem Befund nicht Sch

(Dicke der

| Luft aus Mörtel von geglühtem Sand | | | L |
|---|---|---|---|
| Präparat | Volum | Scalagrad | |
| A | 600 L. | | |
| — | — | | |
| A | 536 | | |

...beobachtungen
...mittel und Wege ge-
...uf den Ozongehalt der Luft
...örterung dieser Frage leistete mir
... gute Dienste, indem sich deren Hülse
Um dar ...ner Kuppel mit einer nach Belieben feinen
eine Verw ...zen lässt, so dass man mit dieser Abänderung
derselber ...des Permeabilitäts- oder Reibungsgrades isolirt prüfen
glühen ... hatte zuvor schon mit geglühtem Quarzsande mich an
Einfl ...frage gemacht und gebe gleichzeitig das damit gewonnene
kei ...Resultat.

| Permeabilität | Volum | Scalagrad | Permeabilität | Volum | Scalagrad | Luft aus dem Freien: Permeab. der Ozonbüchse | Volum | Scalagrad |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Luft aus einer 3 Centimtr. dicken Quarzsandschichte | | | | | | | | |
| 173 L. | 930 L. | X | — | — | — | 263 L. | 930 L. | VIII |
| " | 180 | VI:VII | — | — | — | " | 152 | VI |
| " | 144 | VII | — | — | — | " | 144 | VII |
| Luft aus der zugeschmolzenen Ozonbüchse | | | | | | | | |
| 7 | 177 L. | VIII | — | — | — | 263 L. | 177 L. | VIII |
| " | 73 | IX | — | — | — | " | 73 | IX |
| — | — | — | 35.5 L. | 95.5 L. | V : VI | " | 95.5 | V : VI |
| 7 | 37 | VII | " | 37 | VII | — | — | — |
| " | 30.5 | VIII | " | 30.5 | VIII | — | — | — |

dieser Versuchsreihe resultirt wohl mit aller Bestimmt-
e ungenügende Permeabilität des Materiales und die
ehrte Reibung nicht im Geringsten zur direkten
Ozonverlüstes werden kann.

Mörtelversuchen noch den Vorwurf machen
Seiten des Mörtels längere Versuchszeiten
wegen der grösseren Widerstände lang-
h auch auf diese Möglichkeit einer
ndem ich mittelst eines Hofmann'-
Ozonbüchse und Gasuhr den
Luft direkt aus dem Freien
ts annähernd die gleiche Ver-
blieb jedoch dasselbe wie zuvor.

ich eine Beobachtung gemacht, die, so
den Anfang auch erschien, mir einen weiteren
t geben sollte. Als ich nämlich die Präparate *C* und
n dem Glühen im Verbrennungsofen neuerdings prüfte, war
das Verhalten von *D* gegenüber dem Ozongehalt vollständig ein anderes geworden; es schien kein Ozon mehr durchzulassen, obwohl der Permeabilitätsgrad nicht wesentlich sich geändert hatte. Erst in weiteren Versuchen, also nachdem es mit grösseren Luftmengen in Berührung gekommen war, wurde es wieder indifferent.

| Luft aus geglühtem Mörtel | | | | | | | | Luft aus dem Freien | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Präparat | Permeabilität | Volum | Scalagrad | Präparat | Permeabilität | Volum | Scalagrad | Permeab. d. Ozonbüchse | Volum | Scalagrad |
| C | 44.4 L. | 210 L. | 0 | D | 84.0 L. | 210 L. | 0 | 263 L. | 40 L. | IV |
| C | „ | 315 | 0 | D | „ | 315 | III | | | |
| — | — | — | — | D | „ | 173 | VII | „ | 173 | VII |
| C | „ | 193 | II | — | — | — | — | „ | 193 | VII |

Es war *D* ein Präparat aus zuvor geglühtem Sand, die Veränderung kann also nur den Kalk betroffen haben durch theilweise Ueberführung des Calciumcarbonats und des Calciumhydrats in Calciumoxyd. In den Vorversuchen glaubte ich, wie schon angeführt, mich überzeugt zu haben, dass weder Kalkhydrat noch

kohlensaurer Kalk dem Ozongehalte etwas anhaben können, wenn die Luft durch Liebig'sche Trockenröhren mit diesen Substanzen geleitet wird. Als ich aber, veranlasst durch den eigenthümlichen Einfluss des Glühens auf *D*, in langsamem Strome (etwa 25 L. per Stunde) die Luft in der oben angegebenen Weise durch die Eudiometerröhre leitete, deren Wandungen ich mit einem oder dem andern dieser Stoffe beschlagen hatte, bekam ich ein wesentlich anderes Resultat.

| Luft aus dem Eudiometer | | | Luft aus dem Freien | |
|---|---|---|---|---|
| Eudiometer beschlagen mit | Volum | Scalagrad | Volum | Scalagrad |
| Kalkhydrat | 121 L. | I | 121 L. | V |
| Strassenstaub mit Kalkhydrat | 221 | 0 | 221 | VI |
| Calciumcarbonat | 195 | VII | 195 | VII |
| Strassenstaub mit Calciumcarbonat | 136 | VII | 136 | VII |
| „ „ „ | 114 | IV | 114 | IV |

Das Calciumhydrat war sofort nach dem Löschen zum Versuch genommen und so bereitet worden, dass ich vorsichtig zu gebranntem Kalk Wasser gab, bis pulveriger Zerfall eintrat. Ein Theil dieses Kalkhydrats und des Präparats Strassenstaub-Kalkhydrat wurden behufs Karbonatbildung bei etwa 40$^0$C. in ozonfreier Luft mit Kohlensäure fünf Tage lang behandelt.

Aus dem Befund dieser Versuchsreihe musste ich es für wahrscheinlich erachten, dass das Kalkhydrat im Mörtel von geringer Permeabilität den Ozongehalt der durchtretenden Luft beeinflusst. Dass aber ein Verlust an Kohlensäure durch Absorption von Seiten des Kalkhydrats bei der Ozonreaktion nicht in Betracht kommt, hatte ich in einem schon erwähnten Versuche mit Kalilauge constatirt, und da sich nicht gut annehmen lässt, dass das Ozon zu Oxydationsvorgängen im Kalkhydrat verbraucht wird, blieb mir zur Erklärung immer noch die stärkere Hygroskopizität von Calciumoxyd und Calciumoxydhydrat gegenüber dem Calciumcarbonat, welche bei Erwägung der hier gegebenen Möglichkeiten Berücksichtigung verdiente.

Engler und Nasse[1]) haben bewiesen, dass trockenes Ozon auf trockenes Kaliumjodidkleisterpapier nicht wirkt und ist diese Thatsache von Houzeau[2]), Andrews[3]) u. A. bestätigt worden. Sollte nicht beim Passiren der Präparate von geringer Permeabilität eine vermehrte Wasserabsorption statt haben, weil dieselben noch mehr Kalkhydrat als die durchgängigeren enthalten und mit diesem die Luft in den feinen Poren länger in Berührung bleibt? Oder es gewinnt vielleicht die Luft aus dem Freiwerden von Wasser in Folge der Calciumcarbonatbildung ein Uebermaass an Feuchtigkeit, welches nicht minder, wie oben schon besprochen, einen störenden Einfluss auf das Zustandekommen der Reaktion äussern kann, wie die Austrocknung der Luft? Wie weit nun eine Aenderung des Wassergehaltes der Luft beim Passiren des Mörtels statt hat, habe ich zum Gegenstand weiterer Versuche gemacht.

Auf dem zuerst betretenen Wege, den Mörtel oder die Luft selbst nach ihrem Austritt aus demselben zu befeuchten, kam ich nicht zum Ziel, weil es dabei nicht gelingt, in der Befeuchtung die Mitte zu halten und mit dem Feuchtwerden des Mörtels eine Aenderung der Permeabilität unvermeidlich ist. Nach diesen Erfahrungen nahm ich meine Zuflucht zur Bestimmung des Wassergehaltes der Luft, nachdem sie mit dem Reagenspapier in Berührung war, was mittelst Einschalten von Kölbchen, welche in Schwefelsäurehydrat getränkten Bimstein enthalten, leicht geschehen kann.

Die älteren Präparate waren für diese Versuchsreihe nicht mehr zur Hand, worauf ich übrigens keinen besonderen Werth lege, weil an jüngerem Mörtel, der noch reicher an Kalkhydrat ist, ein grösserer Ausschlag in der Luftfeuchtigkeit zu erwarten war. Ich will bei dieser Gelegenheit auch die Schwierigkeit betonen, Mörtelpräparate von dem nämlichen Grade der Austrocknung zu vergleichenden Studien zu bekommen. Mancherlei Verlegenheit bringt dieselbe bei der endgültigen Beurtheilung, wenn auch sich mit annähernder Richtigkeit wird sagen lassen, dass die Calciumcarbonatbildung und Austrocknung überhaupt unter zwei gleich-

1) Gmelin-Kraut, Hdb. 1874, II, 58.

2) und 3) Bei Fox, 271.

alterigen und aus gleicher Mischung gefertigten Mörtelpräparaten bei dem am meisten vorgeschritten sein wird, welches eine grössere Durchlässigkeit zeigt.

Die bezüglich des Einflusses von Mörtel auf die Luftfeuchtigkeit angestellten Versuche gebe ich in nachstehender Tabelle, woraus sich eine Zunahme der Feuchtigkeit beim Passiren des Mörtels ergibt, jedoch nur in so geringem Maasse, dass an eine Beeinflussung der Reaktion durch sie nicht zu glauben ist.

(Dicke der Präparate 3 Centimtr.)

| | Luft aus dem Mörtel | | | | Luft aus dem Freien | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Präparat | Permeabilität | Volum | Scalagrad | Wassergehalt. | Volum | Scalagrad | Wassergehalt | Differenz im Wassergehalt |
| E (aus ungeglüht. Sand.) | 4.7 L | 43.5 L. | 0 | 1.1% | 67.0 L. | VIII | 1.1% | 0% |
| „ | „ | 43.8 | 0 | 1.4 | 43.8 | V | 1.3 | + 0.1 |
| F | 3.2 | 45.0 | 0 | 1.4 | 45.0 | IV:V | 1.4 | + 0.1 |

Somit bleibe ich die Erklärung schuldig, warum die Luft, welche einen wenig durchlässigen Mörtel passirt hat, keine Ozonreaktion gibt. Dass dabei das Kalkhydrat, sei es direkt oder indirekt, eine Rolle spielt, ist nicht zu verkennen.

Da ich mich zum Abschluss der Arbeit gedrängt sehe, verzichte ich auf weitere Hypothesen, welche von mir nicht mehr experimentell verfolgt werden könnten, und obwohl der Nachweis fehlt, ob im jungen reinen Mörtel das Ozon theilweise zu Verlust geht, oder wegen einer Eigenthümlichkeit der Kaliumjodidkleisterpapierreaktion nur nicht zur Wahrnehmung kommt, so sehe ich mich gegenüber der weiteren Frage doch nicht in Verlegenheit, warum die Luft auch ihr Ozon einbüsst, wenn der Luftwechsel durch das offene Fenster statt hat.

Untersucht man den Staub, mit welchem sich Wände, Decke, Boden und Möbel beschlagen, in der nämlichen Weise wie ich es mit dem Strassenstaube gethan habe, so wird man diesem die gleiche ozonzerstörende Kraft zugestehen müssen, wie dem Strassen-

staub. Es sind aber die Wände keineswegs nur oberflächlich mit solchem Staub beschlagen, sondern der dem freiwilligen Luftwechsel als bequemster Weg dienende Mörtel fungirt gleichzeitig als Filter für die aus- und einströmende Luft. Zwar werden, ähnlich wie bei den Wasserfiltern, schon von den oberen Schichten, die suspendirten Bestandtheile der Luft zurückgehalten und kann gewöhnlich nur im Mörtelbewurf quantitativ der Stickstoff nachgewiesen werden. So fand Dr. F. Renk bei seinen bezüglich der Filterwirkung der Mörtelbänder im hygienischen Institut ausgeführten Analysen, von welchen hier Gebrauch zu machen mir freundlichst erlaubt ist, im Mörtelbewurf eines Krankensaales

Probe I . . . . 0.115% Stickstoff
„ II . . . . 0.050 „
„ III . . . . 0.044 „

Es ist dieses ein nicht zu unterschätzender Grad der Verunreinigung, den ich um so höher anschlage, gerade weil er die oberen Schichten trifft, welche durch raschen und häufigen Wechsel des Wassergehaltes ein günstigerer Boden für Keimungs- und Zersetzungsvorgänge sind, als die gleichmässig feuchten tieferen Mauerpartieen. Auf diese Weise können die Wände unserer Wohnungen zu Brutstätten für gesundheitsschädliche Agentien werden und gebietet die Prophylaxe für häufigen Wechsel wenigstens der oberen Schichten des Bewurfes durch Abkratzen und Tünchen etc. Sorge zu tragen.

Aber auch die künstliche Ventilation leidet an diesem Gebrechen, wovon man sich schon überzeugen kann, wenn ein luftzuführender Kanal, gleichgiltig welchen Systems, ausgefegt wird. Die unangenehmste Wahrnehmung desselben machen wir bei Luftheizungen im Beginn der Heizperiode; ähnlich wie bei einem lange ausser Thätigkeit gewesenen und nicht sorgfältig gereinigten Ofen, verkohlt dann aller der Glühhitze zugängliche Staub, und der Luft theilen sich widerlich riechende Verbrennungsgase mit, welcher der Laie bei eisernen Oefen nicht selten sich als eine Folge der von St. Claire-Deville und Troost entdeckten Durchlässigkeit von rothglühendem Gusseisen deutet. Nachdem ich gesehen habe, wie bald und in welch' hohem Maasse diese Ablagerungen von accessorischen Luftbestandtheilen in den zuführenden Kanälen statt

hat, bin ich nicht mehr erstaunt, dass man unter den gewöhnlichen Verhältnissen auch in gut ventilirten Lokalen kein Ozon findet.

Ich habe auch das Verhalten der abführenden Luftkanäle in den Kreis der Untersuchung gezogen und gebe in nachstehender Tabelle das gesammte Beobachtungsresultat.

| Luft aus dem Eudiometer | | | Luft aus d. Freien | |
|---|---|---|---|---|
| Beschlagen mit Staub aus | Volum | Scala-grad | Volum | Scala-grad |
| I. Einem Wohnzimmer des hygienischen Instituts | | | | |
| a) von der Wand | 220 L. | II | 220 L. | VI |
| „ „ „ geglüht | 236 | VI | 236 | VII |
| b) vom Boden | 216 | I | 218 | VI |
| „ „ geglüht | 189 | VI | 189 | VI |
| II. Böhm's Luftheizung im Aushilfs-Krankenhaus | | | | |
| c) vom zuführenden Luftkanal | 162 | II | 162 | VII |
| „ „ „ geglüht | 165 | II | 165 | III |
| d) von einem abführenden Luftkanal | 68 | II | 68 | VII |
| „ „ „ „ geglüht | 139 | V | 139 | VII |
| III. Kelling's Luftheizung in der Schule am Aengerweg | | | | |
| e) vom zuführenden Luftkanal | 120 | II:III | 120 | VIII |
| „ „ „ geglüht | 97 | IV:VII | 97 | IV |
| f) vom unteren abführenden Luftkanal | 143 | VII | 143 | VII |
| „ „ „ „ geglüht | 137 | VI | 137 | VI |
| g) vom oberen abführenden Luftkanal | 125 | 0 | 125 | IV |
| „ „ „ „ geglüht | 182 | VI | 182 | VII |

Scheinbar komme ich durch die Angabe, dass auch in künstlich ventilirten Lokalen Ozon gewöhnlich fehlt, in Widerspruch mit den Beobachtungen von Morin[1]) und Saint-Pierre[2]) und sehe mich dadurch zu einer kurzen Besprechung derselben veranlasst.

Morin hat durch seine im Verein mit Saint-Edme angestellten Experimente erwiesen, dass durch Zerstäubung von Wasser

1) Compt. rend. T. 57, 720.
2) Bullet. Soc. Chim. Juli 1861, 31.

Ozon erzeugt wird, was in Gorup-Besanez[1]) Beobachtungen bei den Gradirhäusern zu Kissingen und u. A. in den Erfahrungen Berigny's[2]) über die Ozonzunahme durch Nebel („je mehr Feuchtigkeit in der Luft, desto mehr Elektrizität") Bestätigung gefunden hat. In den Morin-Sainte-Edme'schen Versuchen ist das Reagenspapier (nach Houzeau) unmittelbar vor dem Zerstäubungsapparat, nur in einer solchen Entfernung aufgestellt worden, dass es nicht nass werden konnte, nicht aber hat man im Grossen die Wirkung eines solchen Apparates auf die Luft eines Zimmers studirt. Ich zweifle keinen Augenblick, dass das Resultat in diesem Falle nicht minder ein negatives geworden wäre, wie bei der Kelling'schen Luftheizung, wo doch auch behufs Befeuchtung der Luft eine Vorrichtung zur Wasserverdunstung eingeschaltet ist, welche nach den Untersuchungen von W. v. Bezold und E. Voit[3]) ihrem Zweck in genügendem Maasse entspricht.

Saint-Pierre bekam in der Ausströmungsöffnung des Gebläses für einen Hochofen schon nach 10 Minuten mit Schönbein's Papier eine Reaktion, während zu gleicher Zeit im Freien und im Arbeitsraume in 10 Stunden kein Ozon nachgewiesen werden konnte. Bei einem anderen Versuche setzte er auf die Kugeln des Regulators einer Dampfmaschine einige Streifen Ozonpapier und hatte trotz der durch die zahlreichen Umdrehungen gesetzten Reibung ein negatives Resultat. Durch seine grössere Geschwindigkeit erscheint mir der Luftstrom eines solchen Gebläses an und für sich nicht vergleichbar mit der Luftzufuhr zum Arbeitsraum, denn es kann bei so starker Reibung der Lufttheilchen Ozon entstehen, und ist auch die Ventilationsgrösse günstiger als im Controlversuch. Im zweiten Experiment war die Umdrehungsgeschwindigkeit vielleicht ungenügend, um durch Reibung Ozon zu erzeugen, oder, was mehr Wahrscheinlichkeit für sich hat, ging das Ozon sofort wieder zu Verlust, wie Saint-Pierre in seinem ersten Versuch wohl auch ein negatives Resultat bekommen haben würde, wenn er die aus dem

1) Annal. Chem. Pharm. 1872. Februar u. März.
2) Compt. rend. Bd. 57, 847.
3) Zeitschr. d. bayr. Architekten- u. Ingenieur-Vereins 1874, Heft 2—4.

Gebläse kommende Luft erst in den Arbeitsraum geschickt und dann auf Ozon geprüft hätte.

Für die nächste Zeit bin ich nicht in der Lage, das Thema des Ozonmangels in geschlossenen Räumen weiter zu verfolgen und gebe ich das bis heute gewonnene Material zur Controlirung und endgültigen Entscheidung von anderer Seite aus der Hand. Die aus meinen Beobachtungen resultirende weiterer Belege kaum bedürftige Erfahrung, dass es die Verunreinigungen unserer Wohnräume und deren Luftwege sind, welche das Ozon der Luft sofort für sich in Anspruch nehmen, erinnert mich bei Skizzirung dieser Studie an ein Referat von Barreswill[1]) über die mehrfach citirte Beobachtung Houzeau's an Glasröhren, welches ich nicht unerwähnt lassen darf, nachdem Fox seiner nicht gedacht hat, als er die von mir experimentell weiter ausgeführte Deutung der Frage zu geben suchte. Barreswill betrachtet die Luft in der Eprouvette als eine durch die Anordnung des Versuchs schon verdorbene, es trete aus diesem Grunde und wegen Mangel des Luftwechsels die Reaktion nicht ein; in bewohnten Zimmern sei ganz derselbe Zustand der Luft und mithin könne er seit Pasteur's Entdeckungen in der Mittheilung Houzeau's nichts Neues erblicken.

## III. Ist die Grundluft ozonhaltig?

Wenn auch die Existenz von Ozon im Boden zufolge der Erklärung, welche dem Ozonmangel in geschlossenen Räumen oben gegeben wurde, wenig Wahrscheinlichkeit für sich hat, so müsste es doch vorlaut erscheinen, wenn man in dieser Frage sich äussern wollte, ehe die Untersuchung mit allen Cautelen geführt ist.

Um in dieser Hinsicht zu einem brauchbaren Resultat zu kommen, darf die Luft nicht Röhren zuvor passirt haben, sondern muss unmittelbar mit dem Reagens in Berührung gebracht werden. Es scheint dieses eine Cautele zu sein, deren Berücksichtigung keine Schwierigkeiten bietet, wenn man sich des nämlichen Apparates wie zur Beobachtung des atmosphärischen Ozons bedienen

1) Bullet. Soc. Chem. Juli 1864, 31.

will. Freilich ist in einer Ozonbüchse oder auf das Ende einer Glasröhre geklebt, das Reagens gut in jedes Bohrloch einzulassen und können die natürlichen Verhältnisse durch Verschütten des Saugrohres einigermassen für den Versuch hergestellt werden. Nur der hohe Wassergehalt der Grundluft bringt Verlegenheiten, welche umgangen werden müssen in Anbetracht der Bedeutung, welche man dem Feuchtigkeitsgrad der Luft für das Zustandekommen der Kaliumjodidkleisterreaktion beimisst. Die Luft im Boden ist mit Wasser fast stets gesättigt, der in denselben eingelassene Untersuchungsapparat beschlägt sich mit Wassertropfen, das Reagenspapier wird mitunter so nass, dass es zerfällt.

Nach mancherlei Fehlversuchen glückte es schliesslich doch das Ozonoskop vor dem Nasswerden zu schützen, wodurch die Wahrscheinlichkeit eines Einflusses der Bodenfeuchtigkeit auf die Reaktion sehr herabgesetzt wurde. Ich liess Glasröhren von 2.5 Centimtr. Durchmesser in verschiedener Tiefe in den Boden ein und setzte ihr oberes Ende mit dem Saugapparat in Verbindung, während in der Röhre das Ozonoskop dicht über dem unteren Ende (der Eintrittsöffnung der Grundluft) aufgehängt war. Indem so die Luft einen grossen Theil ihrer Feuchtigkeit zum Beschlagen der Glasröhre abgab, war das Nasswerden des Reagenspapiers schon nicht mehr in dem Maasse wie früher eingetreten, und als ich später das Ozonoskop nicht mehr frei, sondern aufgerollt in einer 3 Centimtr. langen und 1.2 Centimtr. weiten Glasröhre aufhängte, fand ich selbst nach mehrtägigem Ausgesetztsein dasselbe nie stärker befeuchtet, als wenn es in einer Ozonbüchse der atmosphärischen Luft bei Regen ausgesetzt gewesen wäre. Es differirt jedoch das auf solche Weise gewonnene Resultat nicht mit dem der früheren Versuche, welche ich bei 1, 2 und 3 Meter Tiefe gemacht habe.

| Grundluft | | | Jahreszeit |
|---|---|---|---|
| aus einer Tiefe von | Volum | Scalagrad | |
| 3 Mtr. | ca. 1000 L. | 0 | Frühjahr |
| 1.5 | ca. 1000 | 0 | „ |
| 0.65 | 2865 | 0 | Sommer |
| 0.26 | 2352 | 0 | „ |
| 0.18 | ca. 13000 | 0 | Winter |
| 0.25 | ca. 13000 | 0 | „ |

Das Fehlen der Kaliumjodidkleisterreaktion im Boden scheint mir auf diese Weise genügend constatirt zu sein und könnte mich das negative Resultat keineswegs befremden, wenn der Kaliumjodidkleister ausschliesslich nur Ozon anzeigte. Insofern aber dieses Reagens noch andere Stoffe beeinflussen können, welche bei der Mannigfaltigkeit der Bodengase in der untersuchten Grundluft wohl kaum werden gefehlt haben, bleibt mir das Ausbleiben einer Reaktion immerhin räthselhaft. Wahrscheinlich gehen die Zersetzungsprozesse in der Grundluft mit viel grösserer Energie und Geschwindigkeit vor sich, als in der Atmosphäre, so dass die Existenz jener Stoffe, für welche das Reagens ausserdem Empfindlichkeit zeigt, von zu kurzer Dauer ist, um zur Wahrnehmung zu kommen.

Ich will bezüglich der Promptheit der chemischen Affinitäten im Boden nur an die von Fleck[1]) und zu gleicher Zeit in unserem hygienischen Institut von Crüger bei Studien über Fäulniss und Verwesung nachgewiesene Thatsache erinnern, dass weder Ammoniak noch Ammoniumcarbonat auch nur in Spuren in der Grundluft nachgewiesen werden können. Crüger sah, dass aus faulendem Blute schon unter der Decke einer 10 Centimtr. hohen Sandschichte an die Luft kein Ammoniak oder Ammoniumcarbonat mehr abgegeben wurde. Diese Prozesse gehen aber um so rascher in einem Boden vor sich, der so porös ist, wie das Münchener Kalkgerölle.

Es lässt sich der Ozonverlust im Boden durch ein kleines Experiment leicht vor Augen führen: Wenn man in zwei grosse feuchte Flaschen (zu etwa 5 L.) gleiche Stücke Phosphor bringt und in der einen den Phosphor mit einer mehrere Centimeter hohen Schichte feuchter Gartenerde locker verschüttet, kann man sich überzeugen, dass die Gartenerde das sich entwickelnde Ozon zurückhält, während in der anderen Flasche Ozon nachweisbar ist. Das Resultat blieb das gleiche, als ich mit Kaliumpermanganat und Schwefelsäure ozonisirte Luft bei Vermeidung aller Verbindungsstücke, welche Ozon hätten absorbiren können, durch eine 5 Centimeter hohe Bodenschichte leitete; für diesen Versuch war der Boden in eine 1.5 Centimtr. weite Glasröhre gegeben worden.

---

1) III. Jahresber. d. chem. Centralstelle f. Gesundheitspfl. p. 43.

Ich glaube somit kein Recht zu haben, die Entstehung von Ozon im Boden auf Grund meiner Beobachtungen zu verneinen, indem immer noch die Möglichkeit vorliegt, dass die Existenz desselben von zu kurzer Dauer ist, um zur Wahrnehmung zu gelangen.

## IV. Desinficirt das atmosphärische Ozon?

Man ist gewohnt, dem atmosphärischen Ozon eine Bedeutung für die Gesundheitspflege nach zwei Richtungen beizumessen:

1) im grossen Haushalte der Natur verhindert das Ozon das Ueberhandnehmen von Ammoniak und macht alle jene Stoffe unschädlich, bei deren Oxydation es zu Verlust geht; so verhütet das Ozon Krankheiten, indem es deren Keimung stört oder es regulirt doch wenigstens den Gang von Epidemien, insofern eine Zunahme von Ozon die Morbilität herabsetzt;

2) wirkt das Ozon erfrischend und belebend sowohl auf den gesunden wie auf den kranken menschlichen Organismus.

Ich darf gegenüber der Fragestellung diese Thesen der Ozonlehre nicht ignoriren und werde über deren Berechtigung mit wenig Worten mich zu äussern haben. Wenn die Hygiene unserer Zeit gegenüber der alten Gesundheitslehre als besonders charakterisirendes Merkmal das Prinzip hat, nur auf Grund von Thatsachen ihre Sätze aufzustellen, so ist die Ozonlehre, selbst in ihrem heutigen Stande, noch ein Kind der alten Zeit, insofern man unter Thatsachen richtig beobachtete und richtig verstandene experimentelle Erfahrungen versteht. Wie die curative Medicin, um allmählich zu besserem Gedeihen zu kommen, sich des „post hoc ergo propter hoc“ erst hat entwöhnen und auf experimentellen Boden stellen müssen, ist es Aufgabe der praeventiven Medicin, in welcher jener Fehlschluss leider noch recht heimisch ist, das von der alten Gesundheitslehre überkommene Material mit grösster Strenge zu sichten und nicht minder an den neueren Beobachtungen und den daraus gefolgerten Schlüssen ohne Nachsicht objektive Kritik zu üben, welche ich für die Ozonfrage mit folgenden kurzen Bemerkungen anzuregen wünsche.

Es wäre widersinnig, entgegen den Erfahrungen von Carius, noch zu zweifeln, dass in der Atmosphäre das Ammoniak und

andere Gase vom Ozon oxydirt werden können, und doch dürfte uns, sobald wir dieses als den Zweck des Ozons hinstellen wollten, die Frage in Verlegenheit bringen, ob Beobachtungen vorliegen, dass in der Atmosphäre das Ammoniak zunimmt, wenn die Ozonproduction sinkt, und umgekehrt. Die Wahrscheinlichkeit, dass das Ozon in der Atmosphäre sich an der Zersetzung von Gasen lebhaft betheiligt, deren Anhäufung gesundheitsschädlich werden könnte, gebe ich gern zu, aber um dieses als vollkommen erwiesen betrachten zu dürfen, fehlen noch Thatsachen. Noch weniger bin ich geneigt, als sicher anzunehmen, dass das Ozon allein die Anhäufung von gesundheitsschädlichen Gasen verhindert, weil wir dem grossen Haushalte der Natur stets mehrere Apparate zu Gebote stehen sehen, welche vicariirend die gleiche Aufgabe erfüllen.

Vielleicht aus der Analogie einiger mineralischen Gifte (phosphorige Säure zu Phosphorsäure) hat man sich daran gewöhnt, „Oxydiren" für gleichbedeutend mit „unschädlich machen" zu halten, ohne dass diese Annahme für alle Fälle wird zutreffend sein können. So schreibt man den organsirten Giften, wie den Milzbrandbacterien einen lebhaften Sauerstoffhunger zu und ist von Niemanden constatirt, dass das atmosphärische Ozon eine andere als die belebende Wirkung des gewöhnlichen Sauerstoffs auf sie äussert.

Räthselhaft muss es erscheinen, dass die Luft im Freien die dem Ozon schädlichen Substanzen, welche ich oben als Staub zusammen gefasst habe, in reichlichstem Maasse mit sich führt, ohne dass ein vollständiger Verlust des Ozons dabei eintritt; denn unhaltbar wäre die Annahme, dass sich das Oxydationsbedürfniss dieser Stoffe erst dann entwickelte, wenn sie sich in den Wegen des Luftwechsels abgelagert haben. Wenn man zugeben muss, dass die Quellen des atmosphärischen Ozons reichliche sind und nie zu völligem Stillstande kommen, so weist diese Eigenthümlichkeit entschieden darauf hin, dass die unverkennbaren Schwankungen im Ozongehalt nicht allein durch eine zeitweise Ab- und Zunahme in der Ozonproduction entstehen, sondern auch in einem Wechsel der zur Ozonabsorption nöthigen Bedingungen ihre Ursache haben. Die Schwankungen des Ozongehalts je nach den Jahreszeiten und den meteorologischen Verhältnissen sind zwar vielfach studirt, jedoch mit wenig

Uebereinstimmung im Resultat, und mögen ganz abgesehen von der Unzulänglichkeit der Methoden, die Controversen zum guten Theil darauf basiren, dass wir erst noch zu lernen haben, das Verhältniss der Ozonproduction zur Ozonconsumption in Rechnung zu bringen. So hat Böhm z. B. die Erfahrung mitgetheilt, dass ein geringerer Ozongehalt bei unsteter Windrichtung zur Beobachtung kommt, als wann der Wind stets aus einer Richtung bläst. Wenn die Reibung der Lufttheilchen zur Ozonquelle wird, wie man anzunehmen geneigt ist, so müsste doch die Ozonproduction bei unstetem Winde die günstigeren Bedingungen haben. Sollte hier durch Aufwirbeln von Staub die Ozonconsumption nicht vorherrschend werden können? Unzweifelhaft ist es, dass gewöhnlich nur die oberste Schichte des Staubes und zwar in ausserordentlich dünner Lage dem Ozon der Atmosphäre zugänglich ist, und wäre es plausibel, dass beim unsteten Winde dem Ozon stets neue Oberflächen zur Oxydation geboten werden. Am deutlichsten erscheint mir das Verhältniss der Consumption zur Production bei Gewittern. Die Steigerung des Ozongehaltes nach Gewittern fand ich stets dann von kürzester Dauer, wenn kein Regen gefallen war; wurde aber die Luft, so zu sagen, rein gewaschen und deren suspendirte Bestandtheile niedergeschlagen, so dauerte der vermehrte Ozongehalt so lange als die Luft jene nach Regengüssen charakteristische Klarheit und Transparenz behielt. Es wäre somit ungerecht dem Ozongehalte der Gewitter die luftreinigende Wirkung allein zuerkennen zu wollen, indem der Gewitterregen zumeist an der erfrischenden Wirkung von Gewittern mehr Antheil hat, als die Steigerung des Ozongehalts, wovon man sich auch bei Regengüssen überzeugen kann, welche ohne Ozonzunahme den gleichen Effekt haben.

Das strenge Unterscheiden einer Steigerung der Ozonproduction von einer Verminderung der Ozonconsumption wird aber bei der Ozonoskopie besonders von hoher Bedeutung, wenn diese zur Lösung sanitärer Fragen geübt wird. Der Versuch, die Schwankungen des Ozongehaltes mit dem jeweiligen epidemiologischen Verhalten einer Gegend in Relation zu bringen, kann wohl nur von der Annahme ausgehen, dass die Ozonproduction eine gleichmässige ist und dass der etwaige Befund einer Abnahme des Ozons ledig-

lich durch die Anhäufung des dem Ozon schädlichen Krankheitsagens in der Luft und durch die in Folge dessen gesteigerte Ozonconsumption gegeben sei. Nun widerspricht schon die Grundlage solcher Reflexionen aller Erfahrung; es wechseln die Ozonquellen in ihrer Ergiebigkeit, bald ruht die eine, bald die andere, und die Ozonproduction schwankt nicht nur je nach der Jahreszeit und meteorologischen Constellation, sondern unter gleichen meteorologischen Bedingungen kommt oft ganz verschiedener Ozongehalt zur Beobachtung. Ich erinnere nur an die Erfahrung Böhm's, welche ich bestätigen kann, dass nicht jedes Gewitter eine Ozonsteigerung bringt. Somit fehlt vor Allem jede Berechtigung zu einem Vergleich des während einer Epidemie gewonnenen ozonoskopischen Bildes mit dem unter gleichen Bedingungen in früheren Jahren ohne Epidemie skizzirten. Dass wir aber, wann während einer Epidemie der Ozongehalt nieder war und gegen Ende derselben in die Höhe ging, gerade für die fraglichen, in der Luft schwärmenden Krankheitskeime die Rolle der Ozonconsumenten in Anspruch nehmen müssen, sehe ich zum mindesten nicht ein, da wir in der Luft selbst und an allen Objekten, mit welchen sie in Contact kommt, Stoffe in Ueberfluss haben, welche Ozon begierig absorbiren, ohne auch nur im Geringsten der Gesundheit schädlich zu sein. Wir beobachten ja das nämliche zu Zeiten, in welchen wir von Krankheiten am wenigsten heimgesucht sind, ohne die zeitweise Abnahme des atmosphärischen Ozons für die Verhütung einer drohenden Epidemie mit grösserem Rechte ansprechen zu können, als zu Cholerazeiten Mancher durch das Auftreten von Erscheinungen eines Schnupfens sich über seine Unbehaglichkeit beruhigt fühlt im guten Glauben, mit der Acquisition des kleineren Uebels dem grösseren entronnen zu sein.

Man könnte mir die allenthalben bei exanthematischem Typhus gemachte Erfahrung entgegenhalten, dass die Contagiosität desselben in Krankenhäusern am besten durch reichlichen Luftwechsel geschwächt wird, und diese Leistung der Ventilation auf eine Ozonwirkung zurückzuführen suchen. Ohne die Möglichkeit bestreiten zu wollen, dass das Ozon hier eine Rolle spielt, muss ich doch der Annahme einer Wahrscheinlichkeit in dieser Hinsicht geradezu

widersprechen. Unumstösslich ist die Erfahrung, dass selbst bei einer Ventilation, welche mehr als die Norm leistet, in bewohnten und unbewohnten Spitälern und Wohnhäusern nur unter selten günstigen Bedingungen Ozon beobachtet wird, dass also in den Lazarethen für exanthematischen Typhus zumeist eine ozonfreie Luft wohl lediglich durch Verdünnung des Contagiums schon das leistet, was man gern dem Ozon vindiciren möchte.

Einen noch grösseren Fehler in der Schlussfolgerung begehen aber jene, welche die Leistung des atmosphärischen Ozons schätzen, ohne dieselbe aus der Kette der begleitenden Ursachen isolirt zu haben. So ist man rasch bei der Hand, die günstige Wirkung eines Aufenthaltes auf dem Lande oder an der See für den auf ozonlose Zimmer- und Stadtluft Angewiesenen lediglich dem reichlicheren Ozongehalt der Land- und Seeluft zuzuschreiben, ohne zu bedenken, welch günstigen Einfluss die geistige Ruhe, das Befreitsein von Berufsgeschäften, die Aenderung der Lebensweise und Nahrung, die Bewegung im Freien u. s. w. auf das Befinden auch ohne Ozon äussert, und wie wenig der Ozonmangel als solcher in unseren Wohnräumen in Betracht kommt.

Brauchen wir denn überhaupt Ozon zu unserem Stoffwechsel? Diese Frage würde, wäre sie nicht schon lange beantwortet, mit dem Nachweis des Ozonmangels in Wohnräumen ihrer Erledigung nahe gerückt sein. Auf Grund ihrer Untersuchungen nahmen A. Schmidt, Kühne, Gorup u. A. als wahrscheinlich an, dass den rothen Blutkörperchen die Eigenthümlichkeit zukommt Ozon aus der Respirationsluft aufzunehmen oder selbst den Sauerstoff derselben in die Modification des Ozons überzuführen und in den Stoffwechsel zu bringen. Ausserdem steht die Schlagfertigkeit des Sauerstoffs im thierischen Organismus mit den Leistungen des Sauerstoffs ausserhalb desselben, wo er bei der Blutwärme noch wenig zu Oxydationsprozessen disponirt erscheint, so wenig in Einklang, dass sich schon hieraus eine Ueberführung desselben im Ozon vermuthen liesse. Sicher ist, dass der Mensch ohne direkte Zufuhr von Ozon existiren und gesund bleiben kann, wenn ihm nur der einfache Sauerstoff in der Athemluft geboten wird. Es ist aber der Sauerstoffgehalt der Luft im Verhältniss zum Sauerstoffbedarf

bei der Athmung so reichlich, dass eine Verminderung, wie sie bei mangelhaftem Luftwechsel sich einmal ergeben könnte, ebensowenig für die Salubrität in Rechnung kommen kann, wie die Anhäufung der ausgeathmeten Kohlensäure als solche; wird ja von Bergleuten eine Luft ohne Nachtheil und Beschwerden ertragen, welche zweimal soviel Kohlensäure enthält, als man in überfüllten Wohnräumen gewöhnlich beobachtet. Ob aber die als ungesund anerkannten Exhalationen der Bewohner, für welche wir uns aus Mangel einer direkten Bestimmungsmethode der Kohlensäure als Maassstab bedienen, nicht im Stande sind bei einem gewissen Concentrationsgrade die ozonbildende Kraft der rothen Blutkörperchen herabzusetzen und so indirekt den Stoffwechsel zu beeinflussen, ist eine Frage, deren Bearbeitung einiges Interesse abgewinnen könnte; vielleicht finden sich Mittel und Wege, dieselbe experimentell zu verfolgen.

Diesen einleitenden Erörterungen habe ich zur Beantwortung der Frage, ob das atmosphärische Ozon desinficire, eigentlich nur noch beizufügen, dass in der Literatur jeder Versuch fehlt, um für diese Annahme den experimentellen Beweis zu führen, so nahe dieser Weg auch zu liegen scheint.

Ich verzichte noch weitere Argumente zu bringen, weil ich schon im Hinblick auf die Mangelhaftigkeit der seitherigen Untersuchungsmethoden, auf deren Resultat die alte Ozonlehre sich stützt, unbesorgt sein darf, dass man mich nicht wird vereinzelt stehen lassen, wenn ich sage, es bedarf noch vieler sorgfältiger Beobachtungen und strengster Kritik in den Schlussfolgerungen, bis man den sanitären Werth des atmosphärischen Ozons nur als erwiesen hinstellen kann.

## V. Ist das künstliche Ozon als Desinfectionsmittel zu empfehlen?

Man hat schon daran gedacht, die in Wohnräume eintretende Luft mit einer Zuthat von Ozon zu unterstützen und so für Verbesserung der Luft zu sorgen. Da aber zu seiner Erhaltung der Organismus des Bewohners nicht des Ozons bedarf, und man mit der Steigerung der Ozonzufuhr nur beabsichtigen könnte, die von

mir unter „Staub“ zusammengefassten und die gasartigen Verunreinigungen der Wohnung zu oxydiren, scheint mir jede auf diesem Wege angestrebte Salubrität zu theuer erkauft, so lange wir den gleichen Zweck mit guter Lüftung und Handhabung der Reinlichkeit vollständiger und billiger erreichen können.

Gestützt auf die von Schwartzenbach[1]), Ireland[2]) u. A. erwiesene Thatsache, dass kleine Thiere (wie Mäuse, Meerschweinchen, Ratten, Kaninchen) in einer Luft zu Grunde gehen, welcher $\frac{1}{6000}$ bis $\frac{1}{2000}$ ihres Gewichts Ozon beigemischt ist, und im guten Glauben an die Desinfectionskraft des atmosphärischen Ozons hat man vorgeschlagen die deletäre Wirkung einer ozonreichen Luft bei Epidemieen zur Zerstörung der Krankheitskeime zu benützen. Besonders in England fand der Vorschlag gute Aufnahme; man construirte, um zu solchen Zwecken Ozon in grösserer Menge zu gewinnen, besondere Apparate, der Aether wurde zur Ozonisirung von Krankenzimmern und Wäsche empfohlen, in Deutschland die Mischung von Kaliumpermanganat mit Schwefelsäure, das Ozonwasser u. s. w.

Von einer experimentellen Prüfung des Werthes solcher Desinfectionen finde ich in der Literatur nur die Andeutung bei Fox[3]), dass er in faulendem Wasser mittelst Ozon die meisten niederen Organismen hat zerstören können, so die Keime und Sporen von Schimmel und anderen Pilzen, Bacterien, Vibrionen und kleine Monaden. Weiteren Aufschluss gibt Fox nicht, selbst nicht darüber, wie er den zerstörenden Effect der Ozonisirung constatirt hat. Immerhin verdient es Anerkennung, dass er die Initiative ergriffen, dieses experimentell zu verfolgen.

Wenn auch in der Desinfectionsfrage die experimentelle Erfahrung, so oft sie zur praktischen Verwerthung kommen sollte, manche bittere Enttäuschung gebracht hat, darf der Misserfolg in der Praxis nicht verleiten, die experimentelle Grundlage zu perhorresciren. Nur im Experimente sind wir im Stande, die Wirkung eines Desinfectionsmittel aus der Kette begleitender Ursachen zu isoliren, und nur das Experiment kann vor dem in der Ozonfrage

1) Verhandlungen d. Würzb. phys. med. Ges. 1850, 322.
2) Edinb. med. Journ. 1863, 729.
3) l. c. pag. 152.

heimischen Fehlschlusse „post hoc ergo propter hoc“ bewahren. Darum halte ich auch hier fest an dem Verlangen der experimentellen Prüfung eines Mittels, dessen praktischer Werth, so lange der experimentelle Beweis fehlt, mir ebenso illusorisch erscheint, als seine Anwendung demjenigen grosse Kosten machen wird, welcher auf Erfolg Anspruch haben will.

Will man nun nach dem Grunde suchen, warum in der Praxis die behufs Verhütung einer Krankheit applicirten Desinfectionsmittel nie das leisten, was der Laboratoriumsversuch von ihnen versprochen hat, so ist zunächst der Werth der im Experimente angewandten Methode zu prüfen. Man studirt den Effect eines Desinfectionsmittels auf Krankheitsgifte, indem man in verschiedenen Dosen dessen Einfluss prüft

1) auf niedere Organismen mit dem Mikroskope,
2) auf organisirte und nichtorganisirte Fermente auf chemischem Wege,
3) auf Krankheitsträger mit Infectionsversuchen an Thieren.

Die letzte Methode zeichnet sich vor den andern dadurch aus, dass sie versucht am Krankheitsagens selbst oder wenigstens an dessen Träger die Probe zu machen, ohne um das Räthsel sich zu kümmern, ob der Infectionsstoff flüchtig oder fest, ob er organisirt oder nicht organisirt sei, und hat dieselbe, soweit sie mit Thierkrankheiten arbeitet, sichere Kriterien. Dagegen kann bei dem in der Untersuchung niederer Organismen Geschulten die erste Methode kein Vertrauen finden, sobald die Beobachtung sich auf jene nicht kulturfähige mikroskopische Objekte bezieht, in deren Natur man eine verwandte Aehnlichkeit mit den Krankheitskeimen gefunden zu haben glaubt. Während in Anbetracht der Unzulänglichkeit der heutigen mikroskopischen Apparate die Kriterien des Zerstörtseins an derart minutiösen Objekten oft höchst trügerisch sind, gibt die zweite Methode, welche die chemische Lebensäusserung des Desinfectionsobjekts ins Auge fasst, für diese Beurtheilung unverkennbare Merkmale. Doch schon gegenüber der Unkenntniss, welches die Natur der Infectionsstoffe sei, ob sie fermentativ oder anders wirken, muss auch der Werth der zweiten Methode, deren Anwen-

dung nur auf der Voraussetzung einer Fermentwirkung beruht, Bedenken erregen, und verspricht die dritte ein verlässigeres Resultat, wenn sie auch mit allen den Fehler gemeinsam hat, dass im Experimente die natürlichen Verhältnisse zu wenig nachgeahmt werden.

Beim Laboratoriumsversuch hat man nämlich das Desinfektionsobjekt in einer Weise lokalisirt in der Hand, wie es in der Praxis sich nie anfassen lässt. Selbst nicht bei den contagiösen Krankheiten, wie Blattern, ist es möglich, das Desinfectionsmittel mit solcher Sicherheit zu appliciren wie im Versuche, zumal Rücksichten auf den Patienten die direkte Anwendung des Mittels geradezu verbieten, soweit der Patient selbst noch der Träger ist. Es sind aber in der praktischen Anwendung nicht allein Rücksichten auf den Patienten, Schonung der Mitbewohner, der Möbel und der Lokalität selbst, und überhaupt das Zerstreutsein des Desinfectionsobjekts, welche es erschweren die Desinfection lege artis auf alle muthmasslichen Krankheitsträger auszudehnen, sondern auch die Verdünnung und Veränderung, welche die Mittel unvorhergesehen erleiden, können die gehegte Erwartung illusorisch machen. Im Laboratorium wird der Versuch im Kolben oder unter der Glasglocke angeordnet, man hat genau abgegrenzte Verhältnisse vor sich; wie anders ist es in der Praxis, wo durch Wasseraufnahme oder Diffusion eine Verdünnung des Mittels zu einem unwirksamen Concentrationsgrade eintreten oder dasselbe von Stoffen, welchen es in dem zu desinficirenden Lokale oder Organismus begegnet, theilweise chemisch gebunden und seiner antiseptischen Bestimmung entzogen werden kann, ohne dass man bei der Dosirung auf die Möglichkeit solcher Störungen Bedacht genommen hat.[1])

1) Ich finde für diese Anschauung in den neueren Erfahrungen über die gährungshemmende Wirkung der Salicylsäure einen instructiven Beleg. Die Versuche [Kolbe[1]), Neubauer[1])] sprechen so lange zu Gunsten der Salicylsäure als in denselben eine reine Traubenzuckerlösung oder Most angewandt wird. Wenn aber, wie Fleck[2]) zeigte, als Gährungsflüssigkeit statt der Traubenzuckerlösung eine Bierwürze in Anwendung kommt, welche neben Zucker mancher-

1) Journ. f pr. Chem. Bd. 10 und 11.

2) Fleck, Benzoësäure, Salicylsäure etc. München, 1875, bei Oldenbourg.

Dieser Umstand fällt aber besonders gegen das Ozon schwer in die Wageschale und muss selbst beim schönsten positiven Resultat des Experiments Bedenken hinsichtlich der praktischen Verwerthbarkeit erwecken, weil es eine überaus grosse Neigung hat, schon über der Oxydation von Stoffen zu Verlust zu gehen, welche ganz unschädlicher Natur sind. Und dennoch kann es, abgesehen vom rein wissenschaftlichem Interesse von grossem Werthe werden, auch den Nutzen des Ozons als Desinfectionsmittel studirt zu haben, weil uns die heutige epidemiologische Forschung zu den schönen Erwartungen berechtigt, dass man den Sitz und die Träger der Krankheitskeime stets mit engeren Kreisen begrenzt und so die Angriffspunkte für die Desinfectionsmittel fixirt.

Für diese wie für jede andere Bearbeitung der Desinfection von Krankheitsträgern gebe ich der dritten Methode den Vorzug, weil sie noch am besten gestattet die natürlichen Verhältnisse im Experimente nachzuahmen. Man kann bei einer Krankheit, von welcher man z. B. den Eiter als Vermittler der Uebertragung kennt, an diesem isolirt ebenso leicht ein Mittel prüfen, als man das kranke Thier selbst oder seinen Stall und die mit ihm in Berührung gewesenen Gegenstände desinficirt.

---

lei andere Stoffe enthält, bleibt die Salicylsäure in ihrer Leistung hinter anderen Mitteln (z. B. der Benzoësäure) bei Weitem zurück. Ob man nun mit Fleck den Grund dieser Differenz darin sucht, dass die bei der Bierwürze vorherrschenden stickstoffhaltigen Bestandtheile mit der Salicylsäure eine als Hefennahrung nicht taugliche Verbindung eingehen, oder mit Kolbe[1]) annimmt, dass die Salicylsäure, welche nur im freien Zustande gährungshemmend wirkt, sich mit andern in der Bierwürze vorhandenen Stoffen, wie den Phosphaten, verbindet und dadurch ihren Zweck zum Theil verfehlt, so mahnt doch unter allen Umständen Fleck's Beobachtung zu der Vorsicht, vor der endgültigen Beurtheilung eines Desinfectionsmittels noch im Laboratorium die Versuche so anzustellen, dass sie den bei der praktischen Verwerthung zu erwartenden Verhältnissen möglichst sich nähern. Auf keinen Fall trifft aber die Salicylsäure, wenn sie in der curativen oder praeventiven Medicin Anwendung finden soll, jemals die ihrer Leistung so günstigen Bedingungen wie in der Traubenzuckerlösung des Versuches, und müsste, soweit dieses ohne Nachtheil zulässig ist, jederzeit in ihrer Anwendungsweise und Dosirung darauf Bedacht genommen werden, dass sie in Menge Stoffen begegnet, welche sie chemisch binden und so zum eigentlichen Zweck unnütz machen können.

---

1) Journ. f. pr. Chemie. XII, 161 ff.

Der Grund, warum bis heute die Versuche an Thieren zur Bearbeitung der Desinfectionsfrage noch wenig Aufnahme gefunden haben, mag abgesehen von der grösseren Kostspieligkeit eines solchen Untersuchungsganges, hauptsächlich darin zu suchen sein, dass vergeblich an Thieren nach Krankheitsformen gesucht worden ist, welche das Bild von menschlichen acuten Infectionskrankheiten bieten. Bei der Cholera, wo man eine Uebertragbarkeit auf Thiere gefunden zu haben glaubte, ist nun auch von dieser Manier, Desinfectionsmittel zu prüfen, ausgedehnter Gebrauch gemacht worden; ich habe an einem anderen Orte[1]) mich schon darüber geäussert, wie zwecklos diese Experimente waren, weil Cholera auf Thiere nicht übertragbar ist. Es ist mir nicht wahrscheinlich, dass unter den jetzt bekannten Thierkrankheiten die vergleichende Pathologie bei näherem Studium eine oder die andere findet, welche im pathologischen Bilde mit Cholera oder Typhus übereinstimmt, und auch in der epizootischen Erscheinung Coincidenz und Aehnlichkeit mit dem epidemischen Auftreten einer dieser Krankheiten zeigt, und doch glaube ich die Zeit nicht zu fern, in welcher die Verbreitung und Bekämpfung dieser Krankheiten an Thieren studirt werden können. So gut wie der Pathologe, weil am Menschen einmal nicht experimentirt werden soll, nach analogen Krankheiten bei Thieren sucht und mit Erfolg seine experimentelle Arbeit schon zu einer Zeit aufnimmt, wo weder die Uebertragbarkeit von Mensch auf Thier festgestellt noch eine Aehnlichkeit in der Verbreitungsweise gefunden ist, wird der Epidemiologe sich bald bemühen müssen Krankheitsformen bei Thieren zn finden, welche wenigstens in der Verbreitungsweise mit Cholera und Typhus Uebereinstimmung zeigen, um auf eine vergleichende Epidemiologie sein Experiment basiren zu können, welche für die Kenntniss der Verbreitung und Abwehr von Menschen- und Thierkrankheiten die gleich reiche Ausbeute bringen muss, wie die vergleichende Pathologie für die Pathologie und Therapie.

Einstweilen eignen sich zu Desinfectionsversuchen besonders der Rotz- und Milzbrand, welche auf den Menschen übertragen,

1) Arch. f. exper. Pathologie und Pharmakologie, I. 414.

fast das nämliche pathologische Bild verursachen und den Vortheil haben, dass ihr Infectionsstoff eine kurze Incubationsdauer hat und im Allgemeinen wenig von individueller Disposition beeinflusst wird. Uebrigens darf letztere Erfahrung nicht zu voreiligen Schlüssen führen und muss jedes negative Infectionsresultat durch eine möglichst grosse Reihe von Controlversuchen sicher gestellt werden.

Ich habe die Prüfung der Desinfectionskraft des Ozons, welche auch auf das atmosphärische Ozon ausgedehnt werden soll, unter gütiger Mitwirkung von Professor Otto Bollinger mit Rotzimpfversuchen begonnen und sind wir wenigstens soweit damit gediehen, die Cautelen festgestellt zu haben; von dem uns vorliegenden Resultat heute schon Gebrauch zu machen, müsste voreilig erscheinen.

# Ueber die Verunreinigung des Bodens durch Strassenkanäle, Abort- und Düngergruben.

Von

**Dr. med. Gustav Wolffhügel,**

Assistent des hygienischen Instituts in München.

Zur Zeit ist für München neben dem Projekte, für reichlichere Zufuhr von Trinkwasser zu sorgen, die Ausdehnung des Sielnetzes auf die übrigen Stadttheile in Vorlage. Die vom Magistrate zu dieser Aufgabe berufene Kommission glaubte von einer gründlichen Prüfung des Sielnetzes der Ludwigs- und Maxvorstadt nicht Umgang nehmen zu dürfen, wenn auch das Vorurtheil der Bevölkerung gegen diese Sielanlage heute einer besseren Einsicht gewichen ist und nicht mehr wie im Jahre 1868 Klagen vorliegen, durch welche eine weitere eingehende Untersuchung nöthig geworden wäre.

Der Bau der Siele ist unter Leitung des Stadtbaurathes Zenetti im Jahre 1862 begonnen worden und hat mit dem Jahre 1875 eine Ausdehnung von 21620 Meter erreicht, während noch 107146 Meter der Kanalisirung harren. Die Kanäle führen durchgängig das eiförmige Profil mit nachstehenden lichten Dimensionen:

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Stammsiel | 7 | Fuss hoch | und | 4 | Fuss breit, |
| Hauptsiel | 6 | „ „ | „ | 3.5 | „ „ |
| Nebensiel | 5 | „ „ | „ | 2.8 | „ „ |

es sind dieselben aus hart gebrannten Backsteinen in hydraulischem Mörtel gebaut und hat man zur Kanalsohle seit 1867 nur noch sogenannte Klinker genommen. Wegen der örtlich und zeitlich höchst ungleichen Vertheilung des Wasserverbrauchs musste behufs periodischer Nachspülung in die Anlage ein Stauschleusensystem eingelegt und an den Kanalanfängen Spülbehälter angebracht werden, so dass bei einem durchschnittlichen Gefälle von 1 : 800′ die Siele täglich

eine Abwassermenge von etwa 465 Liter pro Kopf der Anwohner durchläuft, von welcher ungefähr 241 Liter zuvor in den Spülbehältern waren. Wenn auf diese Weise auch eine hinreichende Reinhaltung der Kanäle erzielt wird, so gebührt vom hygienischen Standpunkte der Vorzug dennoch einer fortwährenden reichlichen Spülung, welche dem Sielinhalte am wenigsten zu Zersetzungsvorgängen in den Kanälen Zeit lässt. Bis heute sind die Exkremente von den Kanälen ausgeschlossen und ist die Frage, ob die Einleitung der Aborte sanitär zulässig ist, für die Stadt eine brennende geworden, indem man sich nicht mehr der Einsicht verschliesst, dass wegen der unvermeidlichen Verunreinigung von Luft und Boden eine baldmöglichste Entfernung der Abortgruben im Interesse der öffentlichen und privaten Gesundheitspflege dringend geboten erscheint. Die Kommission hat nun die Frage, in welcher Weise Abhilfe geschehen soll, zum Gegenstande eingehender Erörterungen gemacht und in richtiger Würdigung der gegebenen Verhältnisse dahin entschieden, dass sowohl von einer provisorischen, wie von einer definitiven allgemeinen zwangsweisen Einführung des Tonnensystems müsse abgesehen werden, indem sich dieselbe hierorts zunächst nur für Neu- und Umbauten empfehle. Dagegen wurde von ihr in Aussicht genommen, die Exkremente sammt Gewerbs- und Hausabwasser den Kanälen künftig zu überweisen und eventuell durch Anlage von Rieselfeldern auch der Landwirthschaft Rechnung zu tragen, sobald durch Vermehrung der Wasserzufuhr die Möglichkeit einer fortwährenden Spülung des Sielsystems gegeben sein wird. Der von Professor von Pettenkofer verfasste Kommissionsbericht[1]), in welchem die im Jahre 1868 gemachten Erfahrungen niedergelegt sind, hat diesen Schritt schon angebahnt und verdanken wir ihm genügende Klarstellung der Frage, indem er erörtert, dass selbst bei der bis zu einem gewissen Grade unvermeidlichen Durchlässigkeit von Kanälen die durch Einleiten der Aborte gesetzte vorwiegende Vermehrung der suspendirten, noch unzersetzten organischen Stoffe keine grössere Verunreinigung des Untergrundes der Stadt bringen würde, wenn für gehöriges Gefäll und genügende Wasserspülung gesorgt ist, weil

1) Das Kanal- oder Siel-System in München. München 1869 bei H Manz.

selbst Siele, die nicht absolut wasserdicht sind, bei einer Filtrirung in den umgebenden Boden jedenfalls nichts Suspendirtes durchlassen. Jenen aber, welche in der bei den Sielen nicht ganz vermeidlichen Verunreinigung des Bodens einen berechtigten Einwand gegen die Canalisation zu finden glauben, ist zu bemerken, dass sie nach einem Ziele streben, das nie zu erreichen ist. Denn sie müssten, um nicht in ihren potenzirten sanitären Bedenken inconsequent zu erscheinen, ebenso dem Genusse des Trinkwassers entsagen und sich auch des Gebrauchs der Wohnhäuser entwöhnen, weil Wasser selten frei von Verunreinigung zu finden und in Zimmern selbst bei guter Ventilation die Luft nie so rein wie im Freien zu erhalten ist. Wie die Verunreinigung des Wassers und der Luft erst dann schädlich wirkt, wenn sie einen bestimmten Grenzwerth erreicht, welcher durch Erfahrung und Untersuchung festgestellt wird, so ist auch die Verunreinigung des Bodens bis zu einem gewissen Grade sanitär zulässig. Bei der Canalisirung nun hat die Erfahrung in den englischen Städten längst dargethan, dass die Canäle, wenn sie gehörig angelegt sind, trotz des Mangels einer absoluten Wasserdichtigkeit jenen Grad der Bodenverunreinigung noch lange nicht hervorzurufen vermögen, welcher der Gesundheit nachtheilig wäre.

Die Prüfung der Siele auf ihre Dichtigkeit bestätigte im Jahre 1868 der Kommission die anderwärts gemachten Erfahrungen; es zeigten auch die Münchener Strassenkanäle sich undicht, an manchen Stellen wurde ein Durchsickern des Kanalwassers bemerkt, ja an einem solchen Punkte konnte binnen 15 Minuten eine Flasche mit 750 Kubikcentimeter gefüllt werden und fehlte, wie vorauszusetzen war, nirgends eine wenn auch geringe Imprägnirung des die Kanalsohle umgebenden Bodens.

Gestützt auf den erwähnten Bericht sah nun die neu berufene Kommission vor Allem sich in der günstigen Lage, den derzeitigen Befund mit den vor sechs Jahren gemachten Beobachtungen vergleichen zu können, und stellte sich zunächst die Frage, ob seither eine Verminderung oder eine Zunahme der Bodenverunreinigung durch die Siele stattgefunden habe.

---

Zur Prüfung der Siele auf ihre Dichtigkeit wurden in erster Linie die schon im März 1868 untersuchten Stellen in der Schelling-, Karl-, Dachauer- und Mitterer-Strasse wieder zugänglich gemacht und noch weitere Ausgrabungen in der Amalien-, Adalbert-, Barer- und Gabelsberger-Strasse angeordnet, so dass am 26. Mai 1874 an besagten acht Punkten durch die Herren Medizinalrath Dr. Kerschensteiner, Obermedizinalrath Professor Dr. von Pettenkofer und Stadtbaurath Zenetti die Ortsbesichtigung vorgenommen werden konnte, zu welcher man mich beigezogen hatte, da ich mit der chemischen Untersuchung des Bodens betraut werden sollte. Die Ausgrabungen hatte man in der Art gemacht, dass bis zur Kanalsohle ein Schacht getrieben war, in welchem zwei Mann bequem stehen konnten. Bis zum Erscheinen der Kommission hatte man den Boden unter dem Siele unberührt gelassen und geschah die Aushebung des Untersuchungsmaterials jedesmal von einem der Kommissionsmitglieder.

Der Befund war wesentlich verschieden von dem im Jahre 1868, denn es war zu unserer grössten Ueberraschung weder an den alten, noch an den neueren Kanälen ein Durchschwitzen ihres Inhaltes bemerkbar, die Sielmauer war trocken oder feucht, je nach dem Feuchtigkeitsgrade des sie umgebenden Erdreiches und der Entfernung vom Niveau des Grundwassers, das damals hoch stand. Nirgends an der Sielmauer fand man eine klebrige Ausschwitzung oder Auflagerung, überall war dieselbe wie auch das umgebende Erdreich geruchlos, mit Ausnahme des Bodens in der Karlstrasse, welcher etwas moderig roch. Ueber die einzelnen Ausgrabungsstellen wurde bei der Besichtigung nachstehender Befund zu Protokoll gegeben:

| Siel erbaut im Jahre | Tiefe der Sielsohle | Ausgrabungsstelle | Befund |
|---|---|---|---|
| 1867 | 4,15 Mtr. | Ecke der Amalien- und Gabelsbergerstrasse. | Sielmauer verhältnissmässig trocken, einige Steine feucht anzufühlen, keine Wassertropfen sichtbar, geruchlos, keine klebrige Ausschwitzung. |

| Siel erbaut im Jahre | Tiefe der Sielsohle | Ausgrabungsstelle | Befund |
|---|---|---|---|
| 1872 | a. 4,10<br>b. 4,65 | Kreuzung der Siele der Barer- und Theresienstrasse. | Keine Aussickerung bemerkbar, geruchlos, Mörtel und Steine feucht, weniger bei dem Siele a als bei dem der neuen Pinakothek näher gelegenen tieferen Siele b, in dessen Umgebung der Boden bis über die Sohle (wahrscheinlich vom Grundwasser) gleichmässig durchfeuchtet ist. |
| 1862 | 4,12 | Ecke der Schelling- und Amalienstrasse. | Mörtel und Steine feucht, keine tropfbare Flüssigkeit oder übelriechende Ausschwitzung. |
| 1868 | 3,90 | Adalbertstrasse. | Im Siel 12.5 Centimtr. hoch laufendes Wasser. Der Zustand der Sielmauer und des umgebenden Bodens differirt nicht mit den schon besichtigten Stellen. |
| 1873 | 4,00 | Gabelsbergerstrasse. | Die Sielsohle wird vom Grundwasser bespült, was die Aushebung des Untersuchungsmaterials erschwert. Dem Grundwasserstande entsprechend ist der Boden durchfeuchtet und die Sielwand nass; Boden und Sielwand geruchlos. |
| 1861 | 1,80 | Dachauerstrasse. | Cementsteincanal, Boden von dem am Morgen gefallenen Regen feucht, an der Sielwand keine Ausschwitzung bemerkbar, geruchlos. |
| 1863 | 3,50 Mtr. | Ecke der Karls- und Arcisstrasse. | Sielwand und Boden feucht, letzterer zeigt einen leichten Modergeruch, von einer Aussickerung nirgends etwas zu sehen. |
| 1865 | 2,70 | Mittererstrasse. | Boden allgemein feucht, geruchlos wie auch die Sielwand, an der weder tropfbare Flüssigkeit noch klebrige Auflagerung zu finden ist. |

An jeder Ausgrabungsstelle wurde nun dicht unter der Sielsohle eine Probe des Bodens ausgehoben, und dem hygienischen Institute zur Untersuchung überwiesen, bei welcher ich genau nach den im Commissionsbericht von 1868 niedergelegten Angaben Prof. Feichtinger's arbeitete, um ein vergleichbares Resultat zu be-

kommen. In der Fürsorge, dass von allen Punkten das gleiche Quantum des Materials zur Untersuchung genommen wurde, hatte das Stadtbauamt hölzerne Kästchen von 1/4 bayer. Cubikfuss Volumen herstellen lassen, so dass ich einer weiteren Messung eigentlich überhoben gewesen wäre. Prof. Feichtinger hatte dagegen sein Material in gläserne Cylinder gefüllt, demselben durch längeres Aufstossen und Klopfen die Consistenz von gewachsenem Boden gegeben und dann das von diesem eingenommene Volumen nach Entleerung des Cylinders mit Wasser gemessen. Vorsichtshalber wich ich auch hierin nicht von dem früher angewandten Verfahren ab, entfernte gleichfalls die grösseren Steine nach Abreiben und Abspülen, die kleineren schlämmte ich mit einem bestimmten Volumen destillirten Wassers und liess den Schlamm bei einer Temperatur von durchschnittlich 18° Cels. 4 Tage mit dem Waschwasser stehen, ohne zu versäumen, den sich zu Boden setzenden Schlamm öfters gehörig aufzurühren. Nachdem nun eine vollständige Auslaugung angenommen werden konnte, soweit von kaltem Wasser eine solche zu erwarten war, wurde das Wasser vom Schlamm abfiltrirt, das Filtrat zur Untersuchung auf die in Wasser löslichen Bestandtheile benützt und die Menge des bei 110° Cels. getrockneten Schlammes bestimmt. 200 Cubikcentm. des Filtrats wurden eingedampft, der bei 110° Cels. im Luftbade getrocknete Rückstand gewogen, nachher geglüht und der Glühverlust als lösliche organische Substanzen in Rechnung gebracht. Die Bestimmung der in kaltem Wasser unlöslichen organischen Substanzen geschah durch Glühen einer Probe des bei 110° Cels. getrockneten Schlammes.

Dieses von Prof. Feichtinger zur Bestimmung der organischen Substanzen benützte Verfahren, muss, ich darf es nicht verhehlen, Bedenken erregen, welchen man sich übrigens im Jahre 1868 auch nicht verschlossen zu haben scheint, wie sich aus den nachträglichen Stickstoffbestimmungen vermuthen lässt. Es steht fest, dass beim Glühen das Resultat durch Mitentweichung von Salzsäure, Salpetersäure, salpetriger Säure, Kohlensäure etc. aus den nicht feuerbeständigen an organischen Verbindungen in dem Maasse getrübt werden kann, als eben solche Stoffe gegenwärtig sind. Noch zweifelhafter muss nun das Resultat der Prüfung des Schlammes durch seinen bald

mehr bald minder starken Gehalt an Thon erscheinen, weil dessen Hydratwasser erst beim Glühen entweicht und der Gewichtsverlust irrthümlicherweise doch nur auf Rechnung der organischen Substanzen gesetzt wird. Jedenfalls verdient gegenüber der Glühprobe zur Schätzung der Bodenimprägnirung mit unlöslichen organischen Stoffen die Angabe des Stickstoffes unbedingten Vorzug, welchen ich nach der Will-Varrentrapp'schen Methode maassanalytisch bestimmt habe. Andererseits schenke ich für die Bestimmung der in kaltem Wasser löslichen organischen Substanzen der, wenn auch nicht ganz tadellosen Kubel'schen Methode ebenfalls mehr Vertrauen als dem Glühen. Leider liegen vom Jahre 1868 nur die Stickstoffbestimmungen zum Vergleiche vor.

Weder beim Abdampfen noch beim Glühen machte ich die von Prof. Feichtinger notirten unangenehmen Geruchswahrnehmungen nach faulendem stinkendem Leim, obschon die Glühproben sich schwärzten und mitunter nachweisbare Ammoniakdämpfe gaben.

Im Commissionsbericht ist das Resultat der Bodenuntersuchungen des Jahres 1868 auf 1 bayer. Kubikfuss Erde in Grammen angegeben. Ich habe es vorgezogen, diese Angaben und die von mir gefundenen Werthe auf das nunmehr geläufigere Metermaass umzurechnen, und geben somit die Zahlen den Befund in 1 Kubikmeter Erde in Kilogramm an.

| Ausgrabungsstelle | | in kaltem Wasser löslich | | in kaltem Wasser unlöslich | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Gesammtmenge | Glühverlust (organische Substanzen) | Menge des Schlammes | Glühverlust (organische Substanzen) | Stickstoff |
| Schellingstrasse | 1868 | ? | 0.046 | 68.654 | 3.810 | 0.201 |
| | 1874 | 0.211 | 0.062 | 67.796 | 4.028 | 0.068 |
| Dachauerstrasse | 1868 | ? | 0.129 | 81.816 | 4.688 | 0.278 |
| | 1874 | 0.174 | 0.109 | 65.599 | 3.632 | 0.109 |
| Mittererstrasse | 1868 | ? | 0.091 | 162.784 | 9.888 | 0.545 |
| | 1874 | 0.295 | 0.061 | 62.704 | 2.768 | 0.094 |

Die Differenz in der auf 1 Kubikmeter Boden berechneten Schlammmenge musste mir vor Allem sehr auffallen, ohne dass ich

sie anders zu erklären weiss, als mit der Annahme von gewissen Zufälligkeiten, welchen man wegen des wechselnden Gehaltes an Gestein beim Ausheben des Bodens an ein und derselben Stelle ausgesetzt ist. Man könnte aus dieser unvermeidlichen Ungleichheit der gemeinsamen Grundlage Anstand nehmen, die Resultate direct zu vergleichen, insofern im Jahre 1868 auf 1 Kubikmeter mehr Schlamm, d. i. imprägnirungsfähiges Material, kam als im Jahre 1874, weil in die Steine von der Verunreinigung ja so gut wie nichts eindringt. Wollte man dazu noch erwägen, dass dem Austritt von Sielinhalt bei der grösseren Lockerheit des Bodens an den Ausgrabungsstellen vom Jahre 1874 wahrscheinlich ein geringerer Widerstand entgegengesetzt und möglicherweise ein Unterschied in der Promptheit der Umsetzungsvorgänge gegeben war, welche je nach der Porosität des Bodens und dessen Gehalt an imprägnirungsfähigem Material variirt, so müsste man schliesslich darauf verzichten, mit solchen Bodenuntersuchungen vergleichbare Werthe gewinnen zu wollen, weil das Verhältniss der Steine zum Schlamm selten wird gleich gefunden werden.

Abgesehen davon, dass man weitere Bedenken tragen könnte, von den Ausgrabungen an einzelnen Stellen auf das Verhalten des ganzen Sielnetzes mit Anspruch auf Sicherheit zu schliessen, ist bei der Würdigung der chemischen Untersuchungsresultate noch der Einwand möglich, dass bei Einlegung eines Sieles in den Boden nicht überall unter die Sielsohle das gleiche Füllmaterial kommt und dass bei einer solchen Umwälzung der Bodenschichten bald mehr bald minder verunreinigter Boden von der Oberfläche in die Tiefe gelangt. Durch Vermehrung der Ausgrabungsstellen wusste man gleichwohl diesen Bedenken einigermaassen zu begegnen, und würde die Möglichkeit, dass beim Bau der Siele mitunter schon an und für sich verunreinigter Boden unter die Canalsohle gekommen sein kann, am wenigsten bei Beurtheilung der älteren Canäle in Betracht kommen können, da die Verarbeitung der organischen Stoffe von Seiten des Bodens und die Auslaugung der Zersetzungsproducte durch Regen und Grundwasser mit der Zeit wohl einen Ausgleich hat zu Stande kommen lassen. Sollte durch die grössere Porosität der älteren Canäle anfangs dem Boden mehr zugeführt

worden sein, als derselbe sofort weiter verändern oder verarbeiten konnte, so ist doch eine Abnahme dieser Imprägnirung jedenfalls unverkennbar, wie aus nachstehender Angabe der Mittelwerthe und der relativen Stickstoffmenge erhellt.

| | in kaltem Wasser löslich | | in kaltem Wasser unlöslich | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Gesammtmenge | Glühverlust (organische Substanzen) | Menge des Schlammes | Glühverlust (organische Substanzen) | Stickstoff | Stickstoff auf 100 Schlamm |
| 1868 | ? | 0.088 | 104.418 | 6.188 | 0.341 | 0.326 |
| 1874 | 0.226 | 0.077 | 65.366 | 3.476 | 0.090 | 0.137 |

Es bestätigt somit die chemische Analyse den bei der Besichtigung der Ausgrabungsstellen schon gewonnenen Eindruck, dass eine entschiedene Besserung des früheren Verhaltens der Siele vorliegt.

Zur Beurtheilung des Grades der Bodenimprägnirung hatte man im Jahre 1868 die Untersuchungsresultate des Bodens von drei ausserhalb der Stadt gelegenen Kiesgruben und vom Sielbau in der Adalbertstrasse vergleichend neben die anderen gestellt. Dieses Verfahren kann ich nur bezüglich des Bodens aus der Adalbertstrasse als correct anerkennen, keineswegs aber scheint mir mit dem Untergrund der Stadt der Boden aus den Kiesgruben vergleichbar zu sein, welche ganz ausser dem Bereiche der dem Boden nicht wenig zumuthenden menschlichen Wohnstätten liegen. Um zu constatiren, ob bei Aushebung des Bodens der Adalbertstrasse kein Zufall obgewaltet habe, schien es mir indicirt, in den Kreis der Untersuchung noch eine Bodenprobe aus gleicher Tiefe zu ziehen, welche

| | in kaltem Wasser löslich | in kaltem Wasser unlöslich | | |
|---|---|---|---|---|
| | Glühverlust (organische Substanzen) | Menge des Schlammes | Glühverlust (organische Substanzen) | Stickstoff |
| Mittel der 3 Kiesgruben | 0.006 | 140.306 | 0.531 | 0.039 |
| Mittel der 3 Kiesgruben + Adalbertstrasse | 0.008 | 110.724 | 0.536 | 0.035 |
| Adalbertstrasse | 0.013 | 21.698 | 0.554 | 0.025 |
| Physiologisches Institut | 0.052 | 37.131 | 1.504 | 0.014 |

bei der Anlage einer Bodenkohlensäurestation in dem am entgegengesetzten Ende der Stadt gelegenen physiologischen Institute gewonnen worden war.

Nachdem ich mich durch die Bestimmung der organischen Substanzen nach Kubel überzeugt hatte, dass der stärkere Glühverlust des wässerigen Auszuges vom Boden des physiologischen Instituts in der That einer grösseren Verunreinigung entspricht, für welche in der Oertlichkeit nicht im Mindesten ein Grund vorliegt, musste mir auch der Boden aus der Adalbertstrasse als zu günstig für den Vergleich gewählt erscheinen. Auf Oberbergrath von Gümbel's und Professor von Pettenkofer's Initiative hat das Stadtbauamt an 60 Punkten der Stadt zur Ermittlung des geognostischen Profils Bohrungen machen lassen, und ist mir die Untersuchung jener Bodenschichten übertragen, welche im Bereiche der Grundwasserschwankungen und somit in fast gleicher Tiefe wie die Siele liegen. Erst nach Vollendung dieser Aufgabe wird man ein vollständiges Bild von der Imprägnirung des Untergrundes der Stadt bekommen. Vorläufig stelle ich den Boden vom physiologischen Institut als Normalboden zum Vergleich neben den Sielboden, weil mir von demselben auch die Bestimmungen von Chlor, Salpetersäure und organischen Substanzen vorliegen.

Nicht ohne Interesse ist das Verhältniss der älteren Canäle zu den jüngeren, welche ich in folgender Tabelle vergleichend zusammengestellt habe. Den Angaben über das Ergebniss der von Professor Feichtinger benützten Methoden sind hier noch die maassanalytischen Bestimmungen der organischen Substanzen (nach Kubel), der Salpetersäure (nach Marx) und des Chlor aus dem wässrigen Auszuge beigefügt. Für spätere Zeit dürfte eine Kenntniss des derzeitigen Chlorgehaltes von Werth werden, wenn einmal der Nachweis verlangt wird, ob nach der eventuellen Einleitung der Aborte die Umgebung der Siele eine Verunreinigung mit excrementellen Stoffen erfahren hat oder nicht.

| erbaut im Jahre | Ausgrabungsstelle | in kaltem Wasser löslich | | | | | in kaltem Wasser unlöslich | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Gesammtmenge | Glühverlust | organischeSubstanzen | Chlor | Salpetersäure | Menge des Schlammes | Glühverlust | Stickstoff |
| | Physiolog. Institut. Normalboden | 0.211 | 0.052 | 0.118 | 0.010 | 0.012 | 37.161 | 1.504 | 0.014 |
| 1862 | Schellingstrasse | 0.211 | 0.062 | 0.051 | 0.007 | 0.021 | 67.796 | 4.028 | 0.068 |
| 1863 | Karlstrasse | 0.228 | 0.075 | 0.103 | 0.049 | 0.016 | 88.249 | 3.199 | 0.021 |
| 1864 | Dachauerstrasse | 0.174 | 0.109 | 0.078 | 0.011 | 0.034 | 65.599 | 3.632 | 0.109 |
| 1865 | Mittererstrasse | 0.295 | 0.061 | 0.155 | 0.047 | 0.045 | 62.704 | 2.768 | 0.094 |
| 1867 | Amalienstrasse | 0.211 | 0.062 | 0.051 | 0.009 | 0.034 | 62.264 | 5.505 | 0.119 |
| 1868 | Adalbertstrasse | 0.155 | 0.137 | 0.131 | 0.010 | 0.002 | 46.841 | 3.596 | 0.037 |
| 1872 | Ecke der Barer- | 0.164 | 0.066 | 0.061 | 0.009 | 0.011 | 74.108 | 4.675 | 0.024 |
| | u. Theresienstr. | 0.146 | 0.123 | 0.079 | 0.012 | 0.005 | 33.786 | 1.303 | 0.010 |
| 1873 | Gabelsbergerstr. | 0.372 | 0.126 | 0.132 | 0.038 | 0.0005 | 51.706 | 1.504 | 0.014 |

Zum besseren Ueberblick gibt die folgende Tabelle die Mittel dieser Zahlen, und zwar wählte ich das Jahr 1867 als Uebergangszeit von den älteren zu den neueren Canälen, weil damals die Bauart eine wesentliche Modification in der ausschliesslichen Verwendung von Klinkern zur Herstellung der Sohle gefunden hat.

| | in kaltem Wasser löslich | | | | | in kaltem Wasser unlöslich | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Gesammtmenge | Glühverlust | organische Substanzen | Chlor | Salpetersäure | Glühverlust | Stickstoff |
| vor 1867 | 0.227 | 0.076 | 0.096 | 0.028 | 0.029 | 3.406 | 0.073 |
| seit 1867 | 0.209 | 0.103 | 0.090 | 0.015 | 0.010 | 3.316 | 0.040 |

Ich glaube in meinen Schlüssen nicht zu weit zu gehen, wenn ich mich auf Grund dieses Untersuchungsresultates dahin ausspreche, dass die jüngeren Canäle für ihr Alter eine grössere Dichtigkeit zeigen als die Canäle im Jahre 1868, deren Poren sich erst mit der Zeit verlegt haben. Ob nun die Anwendung von Klinker zum Sielsohlenbau an dieser Besserung der Verhältnisse einen wesentlichen Antheil hat, muss ich dahin gestellt sein lassen. Unwahrscheinlich ist dies gerade nicht; denn der Klinker erweist sich im

Gegensatz zum hartgebrannten Backstein nach C. Lang's Untersuchungen[1]) als ein für Luft und somit umsomehr für Wasser impermeabeles Baumaterial.

Um eine richtige Vorstellung von dem Grade dieser Bodenverunreinigung zu bekommen, welche die Siele verursachen, selbst wenn sie mit den besten Baumaterialien nach allen Regeln der Kunst gebaut sind, schien es mir erwünscht, den Untergrund von Abortgruben noch in Vergleich ziehen zu können. Mein darauf bezüglicher Vorschlag fand bei Herrn Stadtbaurath Zenetti geneigte Aufnahme, wie ja unsere städtischen Behörden die Bearbeitung sanitärer Fragen gerne unterstützen, und wurde mir durch das Stadtbauamt die Sohle von sechs Abortgruben zugänglich gemacht.

Bei der Wahl der Gruben, welche mir überlassen war, legte ich besonderen Werth darauf, dass sowohl deren bauliche Anlage und Erhaltung als Räumung auf Kosten der Stadt geschieht, weil ich bei solchen am wenigsten zu besorgen hatte, dass man schon beim Bau gespart oder gar die vorschriftsmässige Cementauskleidung absichtlich zerstört habe, um durch Versickernlassen des flüssigen Inhaltes die Räumungskosten zu vermindern. Es ist das letztere Verfahren ein nicht selten angewandter Kniff, für dessen Strafbarkeit man schon in Anbetracht dessen wenig Verständniss zu haben scheint, dass dahier die Bezeichnungen „Abortgrube“ und „Schwindgrube“ noch als synonyme Begriffe gelten und in der That noch Abortgruben existiren, welche seit Menschengedenken nicht geräumt worden sind.

Die Aushebung eines Schachtes bis zur Sohle der Abortgruben geschah in der gleichen Weise wie bei den Sielen, das Untersuchungsmaterial nahm ich selbst dicht unter der Sohle und notirte über die dabei vorgenommene Besichtigung nachstehenden Befund.

---

[1]) Zeitschrift f. Biologie 1875. Heft 3.

| erbaut im Jahre | Quer-schnitt der Sohle | Tiefe der Grube | Ort | Befund. |
|---|---|---|---|---|
| 1851 | 6.2 □m. | 2.0m | Baumagazin, Findlingstrasse | Grubenwandung 0.3 m. dick, Mörtelfugen mit Cementauskleidung. Von der Mitte ab starke Aussickerung von Jauche; es stinkt sehr im Schacht. |
| 1824 ? | 5.2 | 2.0 | Schulhaus, Baumstrasse | Grubenwandung oben 1.0 m. mit Cementfugen und einer Dicke von 0.3 m. gebaut, der untere Theil 0.6 m. dick mit Mörtelfugen und Cementauskleidung. Das umgebende Erdreich hat Fäcalgeruch, wenn auch eine Ausschwitzung von Grubeninhalt nicht bemerkbar. |
| 1864 | 16.5 | 2.5 | Schulhaus, Luisenstr. Nr. 13 | Doppelgrube mit Cementauskleidung und äusserem Cementverputz, über der Grubendecke eine $^1/_2$ m. hohe Kiesschichte. Boden geruchlos, die Grube macht den Eindruck, dass sie nicht im Mindesten durchlässig ist. |
| 1869 | 10.8 | 3.0 | Schulhaus, Gabelsbergerstr. | Ueber der Grubendecke eine 0.6 m. tiefe Kiesschichte und eine Lage Platten. Mörtelfugen mit Cementauskleidung. Der Grubenwandung, welche übrigens dicht zu sein scheint, lagert etwa 0.2 m. eines fetten schwarzen Bodens an. Das Grundwasser steht nahe der Sohle. |
| 1872 | 6.9 | 3.0 | Schulhaus, Aengerweg (Schwanthalerstrasse) | Grube mit Asphaltbändern und Cementauskleidung gebaut, ist trotzdem an mehreren Stellen sehr durchlässig für Jauche. |
| ? (vor mehr als 20 Jahren.) | 4.0 | 1.5 | Bauhof, Flossstrasse | Die Grube mit Beibehaltung der alten Sohle vor einigen Jahren verkleinert. Die neue Wandung anscheinend nicht durchlässig, der Boden unter der Sohle fett und übelriechend. |

In diese Versuchsreihe habe ich noch eine Bodenprobe aufgenommen, welche mir nicht ohne Interesse zu sein scheint. Beim Umbau des gräfl. Arco'schen Anwesens in der Fingergasse (Maffeistrasse) fand man, dass die in Steinen und Kalkmörtel gefasste Pferdedüngergrube von ihrer 2.3 m. tiefen Sohle aus den Boden bis zum Grundwasser und seitwärts auf fast 10.0 m. mit Jauche

durchsetzt hatte, und ist die vorliegende Probe 4.5 m. seitlich von der Düngergrube aus einer Tiefe von 2.3 m. gegraben worden. Ich glaube betonen zu müssen, dass dieses Object nicht gerade wegen der Seltenheit seines Vorkommens von mir in die Untersuchung gezogen worden ist, denn in München birgt jedes Haus eine mehr oder minder reiche Quelle für die Verunreinigung des Untergrundes der Wohnstätten, sei es auch nur in einer Waschküche, deren Böden zumeist in einer für manchen Hausbesitzer höchst befriedigenden Weise wie Versitzgruben functioniren, ohne der polizeilichen Beanstandung in dem Maasse ausgesetzt zu sein, wie letztere.

Ich kann mir bei dieser Gelegenheit nicht versagen, aus dem Bericht des städtischen Polizeibautechnikers über seine Thätigkeit im Jahre 1874 einiges Material zu schöpfen, und gestehe gern, dass ich selbst vor dieser Einsichtnahme die Salubritätsmissstände in der Kgl. Haupt- und Residenzstadt München unterschätzt habe. Von den 6388 hier existirenden Abortgruben kamen 5300 als geräumt zur Anmeldung und Besichtigung, wobei 1702 (also 32%) als reparaturbedürftig erkannt und 359 (oder 6%) ganz ohne Boden oder ohne genügende Pflasterung gefunden wurden. In 365 älteren Häusern mussten Abortgruben erst hergestellt werden, in 218 Fällen entdeckte man eine unerlaubte geheime Canalverbindung zwischen Abortgrube und Siel, 216 Mal musste die Entfernung von schadhaften hölzernen Abortschläuchen und der Ersatz mit Steingutröhren angeordnet werden. In 305 Häusern bestanden noch die Versitzgruben, obwohl die Einleitung der Haus- und Gewerbsabwasser in das Siel gestattet und geboten war.

Diese Zahlen können eine überzeugende Wirkung umsoweniger verfehlen, als das nachstehende Untersuchungsresultat selbst den beim Aufgraben für gut und dicht befundenen Abortgruben einen grösseren Antheil an der Verunreinigung des Untergrundes der Stadt zuweist als im Durchschnitt den Strassensielen.

| Ausgrabungsstelle | im kalten Wasser löslich | | | | | im kalten Wasser unlöslich | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Gesammtmenge | Glühverlust | organische Substanzen | Chlor | Salpetersäure | Menge des Schlammes | Glühverlust | Stickstoff |
| Bau-Magazin, Findlingstrasse[1] | 1.191 | 0.346 | 0.532 | 0.143 | 0.018 | 50.413 | 4.553 | 0.147 |
| Schulhaus, Baumstr. | 0.180 | 0.032 | 0.503 | 0.022 | 0.002 | 80.995 | 3.893 | 0.031 |
| Schulhaus, Luisenstr. Nr. 13 | 0.201 | 0.088 | 0.524 | 0.025 | 0.015 | 24.205 | 0.533 | 0.001 |
| Schulhaus, Gabelsbergerstr. | 0.283 | 0.111 | 0.504 | 0.025 | 0.028 | 138.806 | 11.775 | 0.061 |
| Schulhaus, Aengerweg | 0.805 | 0.189 | 0.738 | 0.221 | 0.017 | 52.365 | 5.109 | 0.036 |
| Bauhof, Flossstrasse | 0.962 | 0.324 | 4.721 | 0.229 | 0.036 | 125.475 | 6.903 | 0.088 |
| Grfl. Arco'sches Anwesen, Fingergasse | 4.710 | 1.500 | 2.230 | 0.330 | 0.460 | 144.645 | 39.772 | 0.956 |

Das Gesammtresultat aller von mir in dieser Richtung geführten Bodenuntersuchungen habe ich in der nachstehenden Uebersichtstabelle zusammengestellt und in der durch den Grad der Bodenimprägnirung gegebenen Reihenfolge gruppirt.

| | Bodenprobe aus einer Tiefe von | im kalten Wasser löslich | | | | | im kalten Wasser unlöslich | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Gesammtmenge | Glühverlust | organische Substanzen | Chlor | Salpetersäure | Glühverlust | Stickstoff |
| Normalboden | 3.7 m. | 0.211 | 0.052 | 0.118 | 0.010 | 0.012 | 1.504 | 0.014 |
| Mittel von 9 Sielen | 3.6 | 0.217 | 0.091 | 0.093 | 0.021 | 0.018 | 3.356 | 0.055 |
| Mittel von 6 Abtrittgruben | 2.4 | 0.603 | 0.185 | 1.257 | 0.110 | 0.019 | 5.461 | 0.060 |
| Boden 4.5 m. von einer Düngergrube entfernt | 2.3 | 4.710 | 1.500 | 2.230 | 0.330 | 0.460 | 39.772 | 0.956 |

[1]) Prof. von Pettenkofer hat schon im Jahre 1855 diese Abortgrube auf ihre Dichtigkeit untersucht und bei der ersten Auslaugung (mit nur 872 Kubikcentimtr. Wasser) aus 0.1 bayr. Kubikfuss Boden 2.837 Gramm Rückstand, bei der zweiten 0.903 und bei der dritten 0.601 Gramm bekommen. Auf 1 Kubikmeter Erde berechnet hat der erste wässerige Auszug somit 1.135 Kilogramm, sämmtliche Auslaugungen 1.736 Kilogramm Rückstand ergeben.

Hauptbericht über die Choleraepidemie 1854 im Königr. Bayern. I. p. 362.

So erweist sich in der That die durch die Siele verursachte Verunreinigung des Bodens als eine relativ geringfügige und würde angesichts dieser Zahlen selbst die hartnäckigste Voreingenommenheit gegen die Siele besserer Einsicht weichen müssen. Wenn man sich übrigens vergegenwärtigt, um wie viel ungünstiger die Grubenmauern gegenüber den Sielwandungen gestellt sind, kann das Resultat nicht überraschen. Man baut, um nicht zu oft räumen zu müssen, die Abortgruben viel zu gross, und muss es als eine kluge Fürsorge der kgl. bayr. Verordnung über Einrichtung der Erziehungsinstitute anerkannt werden, dass sie die Grösse der Grube pro Kopf normirt. Ist nun die Grube zu tief angelegt, so wird, wenn der Inhalt steigt, ihre Wandung einem überaus grossen hydrostatischen Druck ausgesetzt, der beim Siel für die Filterwirkung seiner Wandung kaum in Rechnung kommen kann. Anderseits ist es eine Erfahrung der Techniker, dass der Gruben- mehr als der Sielinhalt im Stande ist, die Baumaterialien anzugreifen und schadhaft zu machen.

Nachdem ich nun zur Genüge glaube dargethan zu haben, dass die Wandungen der Abortgruben eine weitaus schlimmere Filterwirkung entwickeln als die Siele, erübrigt noch die Grösse dieser Filter in Rechnung zu bringen, um im Voraus dem Einwande zu begegnen, dass die Differenz zum mindesten durch die viel grössere Fläche ausgeglichen werde, welche die Siele gegenüber den Abortgruben einnehmen.

Vom Siele, dessen Anlage jetzt eine Ausdehnung von 21620 Meter erreicht hat, kann in Anbetracht seiner Bauart nur die Sohle als Filter in Betracht kommen, deren durchschnittliche Breite ich mit 1.2 Meter eher zu hoch als zu nieder rechne. Dagegen erwiesen sich beim Aufgraben die Abortgruben nicht etwa nur an der Sohle undicht, sondern es war Aussickerung des Inhaltes an den Seitenwänden schon in einer Tiefe von 0.8 Meter sichtbar. Ich darf daher ohne zu weit zu gehen, zum mindesten einen Meter der Seitenwände als Filterfläche noch in Rechnung bringen. Wenn wir so den durchschnittlichen äusseren Querschnitt der Abortgruben mit 5.4 und die Seitenflächen mit 9.3 Quadratmeter berechnen, so repräsentiren die in den canalisirten Stadttheilen vorhandenen 1972

Abort-, 261 Dünger- und 38 Versitzgruben[1]) eine Filterfläche von 33383 Quadratmeter, welche somit die für die Siele zu berechnende Fläche von 25944 Quadratmeter sehr an Ausdehnung übertrifft. Es lassen sich auf dieser Grundlage folgende allerdings nur annähernde Werthe für die Verunreinigung des Untergrundes der Ludwigs- und Max-Vorstadt berechnen.

| | im kalten Wasser löslich | | | | | im kalten Wasser unlöslich | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Gesammtmenge | Glühverlust | organische Substanzen | Chlor | Salpetersäure | Glühverlust | Stickstoff |
| Siele | 5629.8 | 2360.9 | 2412.8 | 544.8 | 467.0 | 87068.0 | 1426.9 |
| Abortgruben | 20129.9 | 6175.8 | 41962.4 | 3672.1 | 634.2 | 182304.5 | 2002.9 |

Ein würdiges Seitenstück zu dem über die Bodenverunreinigung gegebenen Bilde erhält man durch eine Berechnung der Luftverderbniss von Seiten der Abortgruben auf Grund der Angaben Erismanns[2]), aus welchen ich als 24stündige Ausscheidung von 1 Kubikmeter Grubeninhalt berechne

| | | | |
|---|---|---|---|
| Kohlensäure . . . . . . . . | 0.619 Kilogramm | oder 0.315 Kubikmeter | |
| Ammoniak . . . . . . . . . | 0.113 „ | „ 0.148 „ | |
| Schwefelwasserstoff . . . . . . | 0.002 „ | „ 0.001 „ | |
| Sumpfgas (Kohlenwasserstoffe, fette Säuren etc.) . . . . | 0.414 „ | „ 0.579 „ | |

Wenn wir als mittleren Kubikinhalt der Gruben nur 5.4 Kubikmeter und jede Grube bis zur Hälfte mit Excrementen gefüllt annehmen, dagegen die gewiss nicht unbedeutende Verunreinigung der Luft ignoriren, welche ausserdem die Dünger-, Kehricht- und Versitzgruben verursachen, so ergiebt sich allein von den 1972 Abortgruben der Ludwigs- und Max-Vorstadt als tägliche Emanation in die Wohnungen

[1]) Ich verzichte noch 867 in diesen Stadttheilen befindliche Kehrichtgruben einzurechnen, obwohl dieselben zur Bodenverunreinigung viel dadurch beitragen, dass sie ausser Controle sind und bekanntermassen Hausabwasser, Küchenabfälle, den Inhalt von Nachtgeschirren etc. aufnehmen.

[2]) Zeitschrift f. Biologie 1875. Heft 2.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Kohlensäure . . . . . . | 3295.8 Kilogramm | oder | 1677.1 | Kubikmeter |
| Ammoniak . . . . . . . | 601.6 „ | „ | 788.0 | „ |
| Schwefelwasserstoff . . . . | 10.6 „ | „ | 5.3 | „ |
| Sumpfgas (Kohlenwasserstoffe, fette Säuren etc.) . . . | 2204.3 „ | „ | 3082.8 | „ |

Ich wünsche nicht, dass diese meine Darstellung der hiesigen Abortverhältnisse und Bodenverunreinigung den Leser zu der irrigen Ansicht verleitet, als wären solche Uebelstände nur in München und nicht in den meisten deutschen Städten zu finden. Vielmehr hoffe ich, mit den Thatsachen, welche an dem mir in Untersuchung gegebenen Objecte konnten klar gestellt werden, die Anregung zu geben, dass man auch anderwärts in dieser Richtung untersucht, da die Erfahrung lehrt, dass selbst der Fachmann oft Salubritätsmissstände so lange unterschätzt, als ihm dieselben nicht in Zahlen ausgedrückt vorliegen. Es wird daher eine genaue Erkenntniss der Verunreinigung des Bodens durch menschliche Wohnstätten am sichersten und schnellsten auf die Beseitigung der Ursachen hinweisen und zur Verhütung der damit verbundenen Uebel anspornen.

---

Erismann wies in seiner Abhandlung über die Verunreinigung der Luft durch Abortgruben darauf hin, dass die sanitären Gefahren, welchen uns die Abortgruben durch Verpestung der Wohnräume aussetzen, zum Mindesten unterschätzt werden, wenn man bei ihrer Beurtheilung die Entstehung und Verbreitung von Cholera und Typhus in den Vordergrund stellen wollte, indem vielmehr diese Emanationen statistisch nachweisbar den grössten sanitären Schaden dadurch verursachen, dass sie die Widerstandsfähigkeit gegen alle direkt krankmachenden Einflüsse herabsetzen. Wir haben zu zeigen, wie weit diese Anschauung auf die Verunreinigung des Bodens übertragbar ist.

Die von den Abortgruben u. s. w. in den Boden übertretenden Stoffe gehen rasch dem Zerfall entgegen, indem im Boden vielleicht durch eine Begünstigung der Sauerstoffaufnahme, wie Erismann die desodorisirende Wirkung der Gartenerde erklärt, die Oxydations-

prozesse so rapide verlaufen, dass in der Grundluft Schwefelwasserstoff (Fleck, v. Fodor) nicht gefunden wird und ebensowenig in derselben die Bestimmung von Kohlenwasserstoffen gelingt, wie Dr. A. Schuster's darauf bezügliche Untersuchungen (Münch. hyg. Institut) ergeben haben. Nehmen wir dazu noch die von Dr. Crüger (Münch. hyg. Institut) gewonnene Erfahrung, dass eine 10 Centimeter hohe Sandschichte genügt, um das aus faulendem Blute sich entwickelnde Ammoniak und Ammoniumcarbonat zu binden und an der Oberfläche nicht zur Wahrnehmung kommen zu lassen, so kann von den im Sinne Erismann's schädlichen Gasarten nur die Kohlensäure in Betracht kommen. Diese aber ist bei der Verdünnung, welche sie bei ihrem Aufsteigen an die Erdoberfläche erfahren hat, unbedingt schon sanitär indifferent geworden und wird mit ihrem Uebertritt zu einem normalen Bestandtheile der atmosphärischen Luft, wie ja auch die Kohlensäure, welche unserem Trinkwasser den erfrischenden Geschmack verleiht, zum grössten Theil aus den im Boden stattfindenden Verwesungsvorgängen stammt. Es wäre daher eine Erklärung des sanitären Nachtheils der Bodenverunreinigung nach einer anderen Seite zu suchen.

Erismann fand auch bei der Prüfung der Gartenerde als Desinfectionsmittel, dass man durch diese eine Zerstörung des organischen Lebens nicht erzielt, sondern demselben geradezu einen günstigeren Boden bietet, eine Beobachtung, welche in ihrem ganzen Umfange mit den anderweitigen Erfahrungen stimmt. So hat Dr. Harz bei der botanischen Untersuchung der Bodenproben von den oben erwähnten Profilbohrungen, deren Resultat demnächst in dieser Zeitschrift niedergelegt werden soll, ein so reiches organisches Leben in einer Tiefe von durchschnittlich 5.7 Meter gefunden, dass man in Versuchung kommen könnte, die Entstehung der Grundluftkohlensäure auf den Respirations- resp. Assimilationsprozess dieses zurückzuführen. Zu dieser Thatsache, dass noch im Bereich der Grundwasserschwankungen auffallend günstige Bedingungen zum Gedeihen niederer Organismen gegeben sind, müssen wir noch den unverkennbaren Hinweis auf den Boden als Keimstätte von Krankheitsagentien in Betracht ziehen, welcher aus der Coin-

cidenz der Grundwasserschwankungen mit der Typhus- und Cholerafrequenz in aller Bestimmtheit uns geworden ist. Freilich ist damit unser Vorrath an wirklichen Thatsachen erschöpft, welche für eine Erklärung der Beziehungen zwischen der Bodenverunreinigung und der Entstehung und Verbreitung acuter Infectionskrankheiten sich verwerthen liessen, doch erwächst uns schon hieraus die Mahnung, vom Boden alle jene Stoffe ferne zu halten, welche muthmasslich die Träger eines Krankheitsagens sein oder werden könnten.

Leider kennen wir weder das Wesen dieser Krankheitskeime noch den Weg, welchen sie nehmen, um in den menschlichen Organismus zu gelangen; wir wissen nicht bestimmt, ob Emanationen aus dem Boden oder das Trinkwasser, welches diesen ausgelaugt hat, zum Vermittler derselben wird. Wenn nun auch die methodische Erforschung der Verbreitungsweise von Cholera und Typhus erwiesen hat, dass alle jene Typhus- und Choleraepidemien, deren Entstehungsursache man auf den Genuss von Trinkwasser hat zurückzuführen versucht, zum Mindesten ebenso ungezwungen eine andere Erklärung zulassen, so dürfen wir bei der vorliegenden Frage dem Trinkwasser die Beachtung nicht versagen, das für Viele noch als der bequemste Vermittler zwischen Boden und menschlichem Organismus gilt.

Mir ist stets als die schwächste Seite der Trinkwassertheorie vorgekommen, dass Wasser aus einem Typhus- oder Choleraboden gerade nur als Trinkwasser d. h. durch direkte Einführung in den menschlichen Organismus, vom Magen aus, seine Rolle in der Aetiologie dieser Krankheiten spielen soll, da dasselbe als Nutzwasser, auf dessen Reinheit man in unverzeihlichem Leichtsinne nicht im Mindesten Werth legt, zu einem gefährlicheren Gast in unseren Wohnräumen werden kann. So ist für die Annahme einer Trinkwasserinfection auch nicht im Mindesten eine Grundlage gegeben, wenn in einem Hause, dessen Bewohner durchweg das gleiche Trinkwasser geniessen, die Erkrankungen an Typhus oder Cholera in einzelnen Zimmern oder Theilen des Hauses sich häufen, wie ja oft (besonders in Kasernen) beobachtet wird, während man die Möglichkeit zugestehen und näher ins Auge fassen muss, dass der vom

Boden stammende Theil des Typhus- oder Choleraprozesses, in solchen Fällen durch das Nutzwasser vom Boden auf das Haus übertragen worden ist. Aber das Nutzwasser, das wahrscheinlich nicht selten zum Vermittler der Krankheitskeime von und zum Boden wird, darf auch in der Hinsicht nicht länger für sanitär indifferent gelten, in welcher Erismann die Schädlichkeit der Abortgase beleuchtet hat. Besonders gilt dieses für München, wo das Wasser der Leitungen, von welchen die schlechteste immerhin noch viel reineres Wasser als die Pumpbrunnen liefert, aus Knauserei bisher von den Hausbesitzern zumeist nicht in einer für den vollen Bedarf der Haushaltungen hinreichenden Menge zugeleitet ist, so dass man nebenbei sich noch auf die Pumpbrunnen angewiesen sieht. Man läuft durch die Verwendung eines solchen Wassers Gefahr, für den Unrath, den man durch das Scheuern und Waschen aus den Wohnungen zu beseitigen hofft, mitunter eine noch schlimmere Verunreinigung zu setzen. Geht nun gar wie bei feuchtem Wetter oder im Winter, wo man das Lüften scheut, das Austrocknen langsam vor sich, so ist der Zersetzung der mit dem Nutzwasser eingeführten organischen Stoffe genügend Zeit gelassen und die nach dem Reinigen mit unreinem Wasser ohnehin unvermeidliche Luftverpestung der Wohnungen nimmt einen bedenklichen Grad an, zumal an solchen zum Ausgehen wenig reizenden Tagen sich der Bewohner deren Einwirkung an und für sich mehr aussetzt. Es liegt auf der Hand, dass so die Verwendung von unreinem Wasser als Nutzwasser sanitären Nachtheil auch indirect bringen kann, indem durch Luftverderbniss die Widerstandsfähigkeit gegen krankmachende Einflüsse geschwächt oder mit anderen Worten die individuelle Disposition gesteigert wird. Doch auch dem Trinkwasser glaube ich eine sanitäre Bedeutung in dieser Richtung beimessen zu dürfen, indem schon der einmalige Genuss von schlechtem Wasser die Desinfectionskraft des Magens, soweit man von einer solchen seit den mit Milzbrandgift angestellten Versuchen von Renault[1]) und Colin[2]) reden darf, durch catarrhalische Affection scheint schwächen zu können.

[1]) Récueil de med. vet. 1851 p. 873.
[2]) Compt. rend. LXVIII. No. 3, 1869.

Darum stimme ich aus vollem Herzen ein in das „Ceterum censeo" der Trinkwassertheoretiker und zolle dankende Anerkennung dem Entschlusse der Stadt München, aus einem durch menschliche Wohnstätten noch nicht verunreinigten Terrain sich reines Wasser in so reichlichem Maasse zuzuleiten, dass man auch bezüglich des Nutzwasserbedarfs nicht mehr auf das hiesige Grundwasser angewiesen sein wird. Doch wird meines Erachtens nur dann von der neuen Leitung ein Nutzen für die Assanirung unserer Stadt zu erwarten sein:

1. wenn die Wasserabnahme für jeden Hausbesitzer obligatorisch wird, damit jeder an den Kosten und der Wohlthat participirt,
2. wenn man für jedes Haus nach Maassgabe der Bewohnerzahl ein Minimum der Wasserabnahme normirt und
3. zur Erleichterung des Wasserconsums die Leitung zu allen Stockwerken führt.

Einer energischen Durchführung dieser Bedingungen, deren Begründung Jedermann geläufig sein wird, stehen aber verwaltungsrechtliche Bedenken nicht entgegen, wenn an maassgebender Stelle die sanitäre Bedeutung von Trink- und Nutzwasser die richtige Würdigung findet.

Obgleich wir gestehen müssen, dass zur Beantwortung der Frage *wie* die Bodenverunreinigung sanitären Schaden bringt, die von der Wissenschaft ermittelten Thatsachen noch nicht hinreichen, so liegt doch *der sichere Nachweis vor, dass gerade durch Städtereinigung die Mortalität im Allgemeinen um ein Bedeutendes herabgesetzt werden kann. Diese über die Schädlichkeit der Bodenverunreinigung indirekt gewonnene Erfahrung dürfte aber schon genügen, auch in unserer Stadt mit aller Energie ans Werk zu gehen und die wenn auch grossen Kosten nicht zu scheuen, denn alle für das sanitäre Wohl einer Bevölkerung gemachten Ausgaben erweisen sich als die schönste Capitalanlage.*

Der Ruf „*fort mit den Abortgruben*" ist schon zum Losungswort geworden, aber leider schon zu viel im Munde solcher, welche nur wenig oder gar nicht darüber mit sich zu Rath gegangen

sind, was sie Besseres dafür bringen wollen. Es ist leicht gesagt „Tonnensystem" oder „Siel mit Berieselung", aber die Ausführbarkeit und Zweckmässigkeit nicht so rasch entschieden. Meines Erachtens hat jedes System für sich seine unverkennbaren Vorzüge, doch ist bei der Wahl des Modus stets die Individualität der Stadt maassgebend, wie auch der Arzt die in der Pharmacopoe ihm gebotene reiche Auswahl bei gleicher Indication je nach der Individualität des Patienten trifft, weil nicht ein Mittel für Alle passt. Dass man sich aber bei so theueren und heikelen Recepten, wie die praeventive Medicin sie zu verschreiben nöthig hat, etwas länger besinnt als am Krankenbette, wo eine Abänderung der Ordination beim nächsten Besuch die Autorität des Arztes ebensowenig als das Wohl des Patienten besonders benachtheiligt und höchstens mit einigen Groschen dem Apotheker zu Gute kommt, das ist für Manchen geradezu unverständlich, so natürlich es auch zu sein scheint.

Andere finden die Reihenfolge unnatürlich und nicht sachgemäss, in der man sich dieser Aufgabe unterzieht; so wurde in jüngster Zeit der für die Reinigung der Stadt so wichtige Beschluss der Errichtung eines Centralschlachthauses in herber Weise damit getadelt, dass dieselbe solange eine unnütze Geldvergeudung sei, als die Grundbedingung der Assanirung der Stadt in Gestalt eines Schwemmcanalsystems fehle; das zur Zeit bestehende Canalsystem entspreche nicht einmal den bescheidensten Anforderungen der Hygiene. Jedermann dürfte bekannt sein, dass die Behörden in allen derartigen Fragen nie auf eigene Faust vorgehen, sondern ihre Beschlüsse auf den Rath basiren, den sie sich von einigen competent erscheinenden Seiten erholen. Wer nun die Frage wissenschaftlich behandeln will, muss seinen Tadel gegen die Sachverständigen, resp. gegen die Gründe richten, auf welche ihr Gutachten sich stützt. Dagegen erscheint mir ein diesem entgegengesetztes Vorgehen immer beklagenswerth im Interesse der Sache, weil in der für die sanitäre Thätigkeit der Stadtverwaltungen hochkritischen Zeit sich Niemand beilassen sollte, an der Autorität der leitenden Behörde ohne triftigen Grund zu rütteln, namentlich in München, wo diese durch die in sanitären Fragen sehr verwickelten Compe-

tenzen zwischen Polizeidirektion und Magistrat an der gehörigen Entfaltung ihrer diesbezüglichen Thätigkeit Hindernisse genug noch findet.

Was aber die Sielanlagen der Ludwigs- und Maxvorstadt anbelangt, so steht im Gegensatz zu den Abortgruben von ihnen fest, dass keiner der je gegen sie vorgebrachten Vorwürfe schon das Prinzip der Anlage trifft und gegen dieselbe nur die Art des Betriebs in Frage kommen kann, welche wegen des eingangs erwähnten ungleichmässigen Wasserverbrauchs die Einleitung der Fäcalien vorerst nicht zu gestatten scheint. Aber trotz dieser Beschränkung, welche mit der Zeit d. h. mit Einführung der neuen Wasserversorgung wegfallen wird, ist die Sielanlage für die damit versehenen Stadttheile auch jetzt schon eine nicht zu verkennende Wohlthat.

# Bericht über die Cholera-Epidemie 1873|74 in der Garnison München

veröffentlicht vom Münchener militärärztlichen Verein für Aetiologie

redigirt von

**Dr. Port.**

(Mit Tafel 9. 10. 11.)

Vom August 1873 bis April 1874 kamen in den 7 Kasernen von München bei einem mittleren Präsentstand von 6371 Mann 111 Cholerafälle vor, also 17.4‰, wovon 36 starben. Von diesen 111 Erkrankungsfällen treffen 28 auf die Sommerepidemie (August und September, mit einem einzigen Nachzügler im Oktober), 83 auf die Winterepidemie (November bis April).

Betrachtet man die Vertheilung der 111 Cholerafälle auf die 7 Kasernen Münchens, so ergibt sich, dass dieselben in sehr ungleicher Weise zu leiden hatten, wie aus folgender Tabelle hervorgeht:

| | Mittlerer Präsentstand: | Cholerafälle: | ‰. |
|---|---|---|---|
| Neue Isarkaserne | 862 | 36 | 41.7 |
| Hofgartenkaserne | 696 | 18 | 25.8 |
| Türkenkaserne | 1949 | 45 | 23.1 |
| Alte Isarkaserne | 375 | 6 | 16.0 |
| Salzstadel | 254 | 1 | 3.9 |
| Lehel | 538 | 2 | 3.7 |
| Max II. Kaserne | 1697 | 3 | 1.7 |
| | 6371 | 111 | |

Während die neue Isarkaserne 41.7‰ Erkrankungen aufweist, hatte die doppelt so grosse Max II. Kaserne nur 1.7‰ Erkrankungen. Für diese enorme Differenz kann weder in der Wohnung noch in der Kost, noch in der Kleidung, noch in der Arbeitsleistung der beiderseitigen Mannschaften, ebensowenig in der Handhabung

der prophylaktischen Maassregeln ein Erklärungsgrund gefunden werden. Der Trinkwasserbezug geschieht in der neuen Isarkaserne aus 3 laufenden Brunnen, die wie alle Wasserbezugsquellen der hiesigen Kasernen seit Januar 1874 unter fortlaufender chemischer Controle stehen und während dieser Zeit stets Wasser von guter Qualität mit durchschnittlich 0.330 festem Rückstand per Liter ergeben haben. Auch die Pumpbrunnen der neuen Isarkaserne, die übrigens zum Trinkgebrauch strenge untersagt waren, liefern sehr reines Wasser, das gewöhnlich noch bedeutend reiner ist, als das Röhrenwasser, weil die Brunnen wesentlich durch seitlich eindringendes Isarwasser gespeist werden. In der Max II. Kaserne gibt es blos gegrabene Brunnen mit einem durchschnittlichen Rückstand von 0.580 im Liter. Als diese Kaserne einmal rasch hintereinander eine Anzahl von Typhusfällen lieferte, war man sofort bereit, die Kehrichtgruben, die in der Nähe der Brunnen sich befinden, zu beschuldigen. Mag ein Einfluss derselben auf das Brunnenwasser bestehen oder nicht, so viel ist gewiss, dass der Vortheil hinsichtlich der Trinkwasserversorgung entschieden auf Seite der Neuen Isarkaserne liegt, und dennoch dieses enorme Uebergewicht in der Cholerafrequenz!

Nachdem alle bisher aufgezählten Gesichtspunkte, die man sowohl in der Cholera- als in der Typhusätiologie vorzugsweise zu berücksichtigen pflegt, nicht den mindesten Anhalt gaben zur Begründung der so ungünstigen Morbilitätsverhältnisse auf der einen und der überaus günstigen auf der andern Seite, so dürfte es nicht unpassend sein, noch einen seltener urgirten Punkt ins Bereich der Betrachtung zu ziehen, nämlich die L a g e der beiden Kasernen. Die Neue Isarkaserne liegt hart am linken Ufer der Isar, die Max II. Kaserne liegt von allen Kasernen Münchens am weitesten von der Isar entfernt, auf einem der höchsten Punkte des linken Ufers, so ziemlich auf der Höhe der Wasserscheide zwischen Isar und Amper. Es ist damit allerdings keine Erklärung für die Morbilitätsverhältnisse gegeben, aber es ist wenigstens ein Punkt gefunden, in dem beide Kasernen beträchtlich sich unterscheiden.

Die Entfernung der Münchener Kasernen von der Isar resp. ihre Höhenlage spielt bekanntlich bei der Typhusfrequenz eine be-

deutende Rolle, und ein näherer Vergleich der Cholerafrequenz mit der Lage der einzelnen Kasernen ergibt eine geradezu frappante Analogie zwischen dem Verhalten von Cholera und Typhus. Um in Kürze zu recapituliren, was bei einer früheren Gelegenheit in dieser Beziehung über den Typhus mitgetheilt wurde, so hat es sich als Regel herausgestellt, dass die zunächst der Isar gelegenen Kasernen (in erster Linie Alte und Neue Isarkaserne, in zweiter Linie Hofgartenkaserne) vom Typhus am stärksten heimgesucht und die am weitesten von ihr entfernten (Max II. Kaserne und Salzstadel) am meisten verschont worden. Die inmitten zwischen beiden Gruppen liegende Türkenkaserne nimmt auch bezüglich ihrer Typhusfrequenz einen mittleren Standpunkt ein. Da unsere Kasernen ihre guten und ihre schlechten Typhusjahre haben und die guten Jahre der tiefer gelegenen Kasernen mit den guten Jahren der höher gelegenen nicht zusammentreffen, so kommt es vor, dass z. B. die Türkenkaserne einmal eine grössere Typhusfrequenz aufweist als die Alte und Neue Isarkaserne, aber nie kommt es vor, dass die beiden Isarkasernen oder die Hofgartenkaserne bessere Verhältnisse böten als Max II. Kaserne und Salzstadel. Die Lehelkaserne mit ihrer exceptionellen Lage zwischen zwei Isarkanälen geht bezüglich der Typhusfrequenz ihre eigenen Wege. Der Lage nach zu den tiefgelegenen Kasernen gehörend, schliesst sie sich mit ihrer Typhusfrequenz bald diesen bald aber auch den höher gelegenen Kasernen an. Vergleicht man nun mit diesen Angaben über die Typhusverhältnisse der hiesigen Kasernen die obige Choleratabelle, so wird man die überraschende Analogie nicht verkennen.

Für den Typhus hat sich im Laufe der Beobachtung noch eine andere Thatsache herausgestellt, dass nämlich die von der Isar entfernteren Kasernen nicht nur viel schwächer, sondern auch viel später vom Typhus befallen werden, als die näher gelegenen. Der Typhus nimmt ganz regelmässig von den an die Isar anstossenden Kasernen seinen Ausgang und entfaltet sich hier mit aller Kraft zu einer Zeit wo die weiter landeinwärts gelegenen noch gar Nichts verspüren. Allmählich, im Laufe von Wochen und Monaten, greift er dann auf die von der Isar entfernteren Kasernen über und erreicht ganz zuletzt, wenn überhaupt bis dorthin die Sommer-Niederschläge

nicht dazwischen getreten sind, die Max II. Kaserne und den Salzstadel. Dies Gesetz gilt aber nur für unsere gewöhnlichen Epidemien, die im Spätherbst ihren Anfang nehmen. Bei den seltener vorkommenden Sommerepidemien werden meist auf einen Schlag mehrere Kasernen ergriffen und zwar vorzugsweise die Kasernen mit mittlerer Entfernung von der Isar: Türken- und Hofgartenkaserne, wenig oder gar nicht die der Isar zunächst gelegenen und die am weitesten von ihr entfernten. In jeder Beziehung genau so verhielt sich die Choleraepidemie: ihr in den Sommer fallender Abschnitt verhielt sich wie die Sommerepidemieen des Typhus, ihre Winterhälfte wie die Winterepidemieen des Typhus. Auf den beigefügten Tafeln 9. 10 und 11 wurde dieses wichtige Verhältniss mit aller Ausführlichkeit wiedergegeben, damit Jedermann in die Lage gesetzt wird, sich selbst ein Urtheil über die Sache zu bilden.

Die Winterepidemien des Typhus und der Cholera gehen also von den tiefstgelegenen Stadttheilen, von den Ufern der Isar aus und verbreiten sich allmählig mit abnehmender Intensität gegen die Wasserscheide zwischen Isar und Amper. Sie folgen nicht dem Laufe des Grundwassers, so dass man sich die Vorstellung machen könnte, es habe Jemand auf der Höhe einen Typhus- oder Cholerastuhl deponirt, der sei vom Regen allmählig gegen die tieferen Stadttheile hinabgewaschen worden, und habe die Krankheit in dem Maasse seines weiteren Vordringens in immer weitere Kreise hinabgetragen, sondern sie nehmen den gerade entgegengesetzten Weg, sie steigen bergan! Die Regelmässigkeit, mit der dieses Bergansteigen sich bei jeder Winterepidemie wiederholt, ist eine so imponirende Erscheinung, dass mit ihr unbedingt bei der Aufstellung von Theorien über die Verbreitungsweise des Typhus und der Cholera gerechnet werden muss. Wie sich die Contagionisten mit dieser Beobachtung versöhnen werden, bleibt abzuwarten; vorderhand erscheint die Kluft zwischen ihrer Theorie und dieser Thatsache so gross, dass eine Ueberbrückung derselben kaum denkbar ist.

Es mag übrigens bei dieser Gelegenheit gestattet sein, darauf hinzuweisen, wie wichtig es bei dem Studium der Epidemieen ist, die Beobachtung vor Allem in grossem Styl anzustellen und sich

bis zu genauer Feststellung der groben Verhältnisse aller kleinlichen Düftelei an vereinzelten Fällen sorgfältig zu enthalten. Wenn man den Bau des menschlichen Körpers kennen lernen will, so muss man mit grober Anatomie anfangen und erst zu allerletzt ans mikroskopische Detail gehen. Wer den entgegengesetzten Weg macht, der fängt es gerade so verkehrt an, wie derjenige, der die Verbreitungsweise des Typhus aus einzelnen Fällen seiner Praxis entnehmen zu können vermeint. Die Einzelfälle können erst richtig verstanden werden, wenn das Grosse und Ganze richtig aufgefasst ist.

Nach diesem allgemeinen Ueberblick über den Gang der Choleraepidemie in hiesiger Garnison erübrigte es noch, die Hausepidemieen der stärker befallenen Kasernen näher ins Auge zu fassen und besonders darauf zu achten, ob auch auf diesen beschränkteren Territorien die Verbreitungsweise der Cholera mit der des Typhus harmonirt. Es sind über sämmtliche Cholerafälle der jüngsten Epidemie, sowie über sämmtliche Typhusfälle der 3 letzten Epidemieen genaue Verzeichnisse und Pläne angelegt, auf welchen die Zeit der Erkrankung und das Zimmer, in welchem der Erkrankte lag, ersichtlich gemacht ist. Es bestand Anfangs die Absicht, die sämmtlichen Pläne mit zu veröffentlichen und zu Schlussfolgerungen über die Verbreitung der beiden Krankheiten im Kleinen zu benützen, allein es stellten sich beim Versuch der Ausführung Zweifel darüber ein, ob das vorliegende Material zu solchen Detailstudien wirklich schon gross genug sei, und da die Gefahr der Täuschung um so grösser wird, je mehr man bei der Zergliederung der Epidemieen ins Einzelne eingeht, so wurde beschlossen, vorläufig nicht weiter vorzugehen, sondern eine grössere Ansammlung von Beobachtungs-Material abzuwarten. Nur über einen einzigen Punkt dürfte es schon jetzt erlaubt sein, ein Urtheil auszusprechen, nämlich über das Verhalten von Cholera und Typhus zu den Abtritten.

Nicht in einer einzigen Kaserne hat sich bis jetzt ein stichhaltiger Beweis finden lassen, dass der Typhus mit Vorliebe die Nachbarschaft der Abtritte aufsuche. Unsere Kasernen mit ihren langen Zimmerreihen und ihren spärlich dazwischen eingesetzten Abtritten geben jedenfalls das beste Beobachtungs-Objekt in dieser Richtung ab, und wenn in unseren 7 Kasernen im Laufe von 3 Epi-

demien Nichts vorgekommen ist, was einen Verdacht gegen die Abtritte begründen konnte, so verdienen diese Erfahrungen wohl eine gewisse Beachtung. Es ist richtig, dass bei mangelnder Vorsicht der Sachverhalt manchmal ein ganz entgegengesetztes Ansehen gewinnen konnte; es kommt eben vor, dass der Typhus, der in den grösseren Gebäuden ja bekanntlich eine grosse Neigung zur Herdbildung hat, sich hie und da in einer Gruppe von Zimmern festsetzt, die in der Nähe eines Abtrittes liegen, aber dies kommt noch viel häufiger bei Zimmern vor, die von Abtritten weit entfernt sind. Man darf da natürlich nicht die beliebte Redensart gebrauchen, dass ein positives Beispiel mehr werth ist als 100 negative, sondern man muss sich daran gewöhnen, in jenen Ausnahmsfällen, wo Typhusherd und Abtritt miteinander zusammenfallen, die Abtrittnähe für das zu betrachten. was sie ist, nämlich für eine Zufälligkeit. Die erwähnte Coincidenz ist während der ganzen Beobachtungszeit in sämmtlichen Kasernen in 2 Fällen vorgekommen, einmal in der Türken- und einmal in der Neuen Isarkaserne; in beiden Kasernen laufen die Abtritte durch alle Stockwerke durch, und es hätte also, wenn der Abtritt wirklich der schuldige Theil war, seine schädliche Wirkung auf die nächstgelegenen Zimmer sich jedenfalls in allen Stockwerken äussern müssen. Der Herd beschränkte sich aber in beiden Fällen immer auf ein einziges Stockwerk, die betreffenden Zimmer der anderen Stockwerke blieben auffallend verschont. Wollte man diese beiden Fälle im dejektionistischen Sinne deuten, so müsste man annehmen, dass der Abtritt mit seinen giftigen Ausdünstungen sich an einem Stockwerke so erschöpft habe, dass für die darunter und darüber liegenden Zimmer nichts mehr übrig bliebe. Bei der Widersinnigkeit einer solchen Deutung bleibt nichts Anderes übrig, als auf dem Ausspruche zu bestehen, dass der Typhus mit den Abtritten direkt wenigstens Nichts zu schaffen habe.

In Betreff der Cholera ist dieser Satz noch viel leichter durchzuführen, denn die Fälle haben sich nicht ein einziges Mal in der Nähe von Abtritten gehäuft, sondern immer nur in respektabler Entfernung davon. Die Nachbarschaft der Abtritte war merkwürdig verschont. Es war das natürlich gerade so ein Zufall, als es ein Zufall ist, wenn der Typhus hie und da in der Nähe eines Abtrittes

einen Herd bildet. Wollte man diesen Zufall ausbeuten, wie es von entgegengesetzter Seite gerne geschieht, so könnte man mit ganz gleichem Rechte behaupten: die Cholera flieht die Nähe der Abtritte.

Es wird natürlich versucht werden, unseren Kasernbeobachtungen die Erfahrungen aus der Civilpraxis entgegenzustellen, nach denen man gerade für München, wenigstens für den Typhus zu ganz entgegengesetzten Schlüssen gelangt ist. Es mag daher gestattet sein, für diejenigen, welche die Münchener Verhältnisse nicht kennen, eine Bemerkung beizufügen. Die Privatwohnungen sind hier fast ausnahmslos der Art angelegt, dass auf einen kleinen centralen Gang oder Vorplatz nicht nur sämmtliche Zimmer, sondern auch Küche und Abtritt ausmünden, Alles so gedrängt als möglich an einander gereiht. Beim Betreten dieses centralen Raumes macht sich meist sofort der penetrante Abtrittgeruch bemerkbar, und man käme in die grösste Verlegenheit, wenn man sagen sollte, welches von allen Zimmern, die auf diesen centralen Raum ausmüden, dem Abtrittseinfluss weniger ausgesetzt sei als die andern. In den Münchener Privatwohnungen sind eben alle Menschen den Abtrittsausdünstungen ausgesetzt, und es ist daher kein Wunder, dass auch die an Typhus Erkrankenden davon keine Ausnahme machen; zu verwundern ist nur, wie man aus einem solchen Verhältniss die Abtrittgenese des Typhus ableiten wollte. Die Erfahrungen aus der Civilpraxis, wenigstens soweit sie München betreffen, sind also keineswegs geeignet, ein Gegengewicht gegen die Erfahrungen aus den Kasernen zu bilden. —

Es darf ein Cholerabericht nicht geschlossen werden, ohne dass auch der Contagiositätsangelegenheit Erwähnung geschieht, und dieser Aufgabe soll nicht nur entsprochen, sondern dieselbe dahin erweitert werden, dass die begonnene Parallelisirung von Typhus und Cholera auch auf diesem Gebiete fortgesetzt wird. Es kann sich hier nur um die Beantwortung der Frage handeln: „Sind die Krankenwärter durch die Pflege von Cholera- oder Typhuskranken einer besonderen Gefahr ausgesetzt oder nicht?" da nur über diesen Punkt Beobachtungen und Notizen vorliegen.

Für den Typhus sind auch der Beantwortung dieser Frage wieder die Resultate von 3 Epidemieen zu Grunde gelegt.

| Jahr | Quartal | Laz. Müllerstrasse | | Laz. Oberwiesenfeld | | Filialsp. Schwabing | | Summa der Wärter |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Zahl der Wärter | davon typhus-krank | Zahl der Wärter | davon typhus-krank | Zahl der Wärter | davon typhus-krank | |
| 1871 | III. | 52 | 1 | — | — | 2 | — | 54 |
| | IV. | 64 | 4 | — | — | 10 | — | 74 |
| 1872 | I. | 68 | 12 | — | — | 10 | 1 | 78 |
| | II. | 57 | 1 | — | — | 13 | — | 70 |
| | III. | 71 | 2 | — | — | 5 | — | 76 |
| | IV. | — | — | 70 | 1 | — | — | 70 |
| 1873 | I. | — | — | 69 | 2 | — | — | 69 |
| | II. | — | — | 55 | 6 | — | — | 55 |
| | III. | 25 | — | 74 | 4 | — | — | 99 |
| | IV. | 30 | — | 94 | 1 | — | — | 124 |
| 1874 | I. | 83 | 8 | 83 | 4 | — | — | 166 |
| | II. | 47 | 3 | 63 | 7 | — | — | 110 |
| | III. | 45 | — | 48 | 1 | — | — | 93 |
| | | | | | | | Mittel | 87 |

Bei einem mittleren Stand von 87 Wärtern, welcher, da manche Wärter nur kürzeren Aufenthalt im Spitale hatten, auf 80 zu reduciren sein dürfte, kamen laut vorstehender Tabelle 58 Typhuserkrankungen vor. In den übereinanderliegenden Zimmern No. 7/I. Etage, No. 7/II. und No. 8/III. der Hofgartenkaserne, welche zu den schlechtesten Zimmern dieser Kaserne gehören, wohnen je 19 Mann, also zusammen 57. In diesen 3 Zimmern kamen in den 3 Typhusepidemieen 30 Typhuserkrankungen vor, also in jeder Typhussaison 10 Erkrankungen = 17.5%. Von den 80 Wärtern erkrankten im Ganzen 58, also in jeder Epidemie 19 = 23.7%. Die Krankenwärter bilden also jedenfalls die vom Typhus am meisten betroffene Kategorie der Münchener Garnison.

Nun darf man aber nicht ohne Weiteres schliessen, dass obige 58 Erkrankungen des Wartpersonals blos durch den Umgang mit Typhuskranken acquirirt worden seien, denn es sind nicht blos Typhuswärter, sondern zu einem sehr grossen Theil Wärter anderer

Abtheilungen, welche obiges Contingent geliefert haben. Man wird einwenden, dass auch die Wärter anderer Abtheilungen häufig zum Nachtdienst auf Typhusäälen verwendet werden, so dass schliesslich doch alle Erkrankungen an letzteren Orten acquirirt werden konnten. Dass sich das möglicherweise so verhält, kann nicht bestritten werden, aber es ist nicht für alle Fälle wahrscheinlich, weil auch Kranke, die auf der Externisten- und Syphilis-Abtheilung lagen (an Zahl 16), die theilweise nicht das Bett verliessen, im Spital an Typhus erkrankten. Es ist ferner deshalb nicht für alle Fälle wahrscheinlich, weil im Jahre 1874, wo das Lazareth in der Müllerstrasse und das Lazareth in Oberwiesenfeld gleichzeitig belegt waren, und wo die Typhuskranken ohne Unterschied in beiden Spitälern zur Aufnahme gelangten, der Höhepunkt der Erkrankungen unter den Wärtern in der Müllerstrasse auf den Januar und Februar, unter den Wärtern in Oberwiesenfeld auf April und Mai fällt. Nun liegt die Müllerstrasse auf der unteren Terrasse des Stadtgebietes, das Lazareth Oberwiesenfeld auf der höchsten Terrasse zunächst der Max II. Kaserne, und aus dem oben geschilderten Gang der Typhusepidemieen ist bekannt, dass der Typhus auf der unteren Terrasse um einige Monate früher auftritt, als auf der oberen. Es ist also höchst wahrscheinlich, dass ein grosser Theil der Erkrankungen unter den Wärtern nicht der Gegenwart von Typhuskranken im Lazareth, sondern dem Umstande zuzuschreiben ist, dass die Epidemie in ihrem Vorwärtsschreiten zu den angegebenen Zeitpunkten die betreffenden Krankenhäuser erreichte. Auch im Jahre 1873 fällt die grösste Zahl der Erkrankungen unter den Wärtern in Oberwiesenfeld auf die Monate April, Mai und Juni, und im Jahre 1872 unter den Wärtern in der Müllerstrasse auf den Januar.

Nach all diesen Correkturen und Abstrichen dürfte jedoch immerhin ein Rest von Typhuserkrankungen unter den Wärtern übrig bleiben, der auf den Umgang mit Typhuskranken zurückzuführen ist, und man darf also die Anschauung nicht von der Hand weisen, dass die Typhuskranken etwas ins Lazareth hineinbringen, was den Wärtern gefährlich wird. Es harmonirt dies vollständig mit dem, was bei einer Menge von Gelegenheiten anderwärts con-

statirt worden ist, dass nämlich die Pfleger von Typhuskranken auch an sonst ganz typhusfreien Orten hie und da von der Krankheit ergriffen werden. Es gibt für diese Fälle bekanntlich 2 Erklärungsweisen, die der Contagionisten, dass die Pfleger durch schädliche Emanationen des Körpers ihrer Pfleglinge erkranken und die der Lokalisten, dass die Pfleglinge ohne selbst giftig zu sein, ein ihrem Körper oder ihren Effekten äusserlich anhaftendes Gift aus dem Orte mitbringen, wo sie selbst sich inficirt hatten. Es ist ebenso bekannt, dass nur die letztere Erklärungsweise mit dem was wir sonst von der Verbreitungsweise des Typhus wissen, in Einklang zu bringen ist.

Dass die Cholerakranken ihren Pflegern viel weniger gefährlich sind als die Typhuskranken ist eine aller Orten gemachte Erfahrung. Sie hat sich auch während der letzten Choleraepidemie im hiesigen Militärlazareth bewährt, indem von den Krankenwärtern nicht ein einziger, auch nicht an der leichtesten Cholerine erkrankte. Man glaube ja nicht, dies dem Umstande zuschreiben zu dürfen, dass bei den Cholerakranken jeder Tropfen ihrer Dejektionen sofort desinficirt wurde, während dies bei den Typhuskranken nicht so strenge genommen wird. Die massenhaften und rapiden Entleerungen der Cholerakranken sämmtlich aufzufangen, ist ein Ding der Unmöglichkeit; sie gehen auf den Boden, auf das Bettzeug, auf die Kleider der Wärter, und wenn sie überall rasch beseitigt werden können, an dem letztgenannten Orte bleiben sie unbehelligt, weil ein öfterer Kleiderwechsel den Wärtern entweder nicht möglich oder nicht bequem ist. Das folgende Beispiel mag das veranschaulichen. Ein Cholerakranker hatte seine Unterlage so durchnässt, dass er förmlich in seinem Reiswasserstuhl schwamm. Um ihn trocken zu legen, hob ein Wärter den tropfenden Kranken auf seinen Armen in die Höhe, während ein zweiter rasch die Unterlage herauszog und eine neue einlegte. In der kurzen Zeit, die darüber verstrich, entleerte der Kranke auf den Armen seines Wärters einige Liter Flüssigkeit, die stromweise über den Arm, Hosen, Strümpfe und Pantoffeln des Wärters herunterflossen. Einige Stunden später wurde der Wärter in derselben Kleidung wiedergesehen, die Dejektionen waren an seinem Leibe getrocknet, mussten

sich einer geläufigen Vorstellung zu Folge durch seine Bewegungen in Staub verwandeln und vom Wärter und anderen Leuten eingeathmet werden, aber eine Choleraerkrankung erfolgte dadurch nicht. Solche Ereignisse, wenn auch nicht gerade in solcher Ausgiebigkeit kommen in einem Choleralazareth gewiss täglich und stündlich vor.

Es bestehen also zwischen Cholera und Typhus neben mancherlei Verschiedenheiten, einige recht interessante Analogien, die bei künftigen Epidemieen sorgfältig verfolgt werden müssen. Dass die Cholera ebenso empfindlich auf starke Bodendurchfeuchtung reagirt wie der Typhus wurde von Pettenkofer ausführlich nachgewiesen. Es wäre sehr interessant, aus Garnisonen, in denen öfters Ruhrepidemien vorkommen, Ausführlicheres über die hier besprochenen Punkte zu erfahren. Es spricht Vieles dafür, dass auch die Ruhr nähere verwandtschaftliche Beziehungen zu den beiden obigen Krankheiten besitzt. —

Die Trinkwasseranalysen, die hier seit einiger Zeit gemacht werden, sowie die Kohlensäurebestimmungen der Grundluft, welche letztere, nebenbei gesagt, das beste bis jetzt bekannte Reagens auf Bodenverunreinigung zu sein scheinen, sind noch viel zu jung, als dass man den Versuch machen dürfte, sie mit den Typhus- und Choleravorkommnissen jetzt schon in Vergleich zu stellen. Derartige Untersuchungen dürften, gerade wie die meteorologischen Beobachtungen erst dann einen Werth gewinnen, wenn man die Resultate ganzer Decennien zur Vergleichung vor sich liegen hat. Die ätiologischen Forschungen in Bezug auf Wasser, Luft und Boden müssen mit einer Consequenz und Ausdauer betrieben werden, die den Meisten noch ganz unfassbar ist. Es handelt sich in erster Linie darum, für alle der Beobachtung unterzogenen Vorgänge eine Geschichte zu bekommen, weil man erst mit Hilfe der Geschichte im Stande ist, die regelmässig wiederkehrenden Ereignisse von den ungewöhnlichen, ausserordentlichen zu unterscheiden. Bevor wir z. B. nicht eine Geschichte jedes Brunnens haben, können wir nicht sagen, dass das was zu einer gewissen Zeit an demselben sich ereignete, nicht in das Bereich seiner regelmässig wiederkehrenden Schwankungen gehört. Die Brunnenwasser haben keineswegs

immer gleiche Zusammensetzung, bald sind sie reiner, bald unreiner; zeichnet man dies graphisch auf, so bekommt man ziemlich regelmässig auf- und absteigende Curven. Diese Verhältnisse erfordern natürlich ein genaues Studium. Das übliche Verfahren, nach Ausbruch einer Epidemie ein Paar Brunnen des betreffenden Bezirkes zu untersuchen und aus diesen Untersuchungen Schlüsse zu ziehen, verdient den bittersten Tadel, weil durch solche Oberflächlichkeiten die Wissenschaft nicht nur nicht gefördert, sondern geradezu auf Irrwege geführt wird.

Um die viele Arbeit, die durch fortgesetzte Wasseranalysen, Bodenuntersuchungen, Grundwasser- und meteorologische Beobachtungen durch Evidenthaltung der Morbilitätslisten, Anlegung von Karten und Plänen etc. verursacht wird, bewältigen zu können, um möglichste Gleichmässigkeit der Ausführung zu erzielen und Lücken in der Beobachtung durch gegenseitige Unterstützung zu vermeiden, um die Langweiligkeit und Einförmigkeit der meisten Arbeiten durch gegenseitige Aneiferung besser zu überwinden, hat sich eine Anzahl hiesiger Militärärzte zu einem ätiologischen Verein zusammengeschlossen, in den jeder Aufnahme finden kann, der sich zu methodischer Mitarbeit verpflichtet, und zwar ohne Rücksicht auf sein ätiologisches Glaubensbekenntniss. Die Gründer des Vereins sind nämlich der Ansicht, dass sich auf dem Boden der Arbeit die verschiedenen Glaubensbekenntnisse, die meist übertriebener Speculationssucht ihr Dasein verdanken, sehr bald versöhnen und verschmelzen werden.

Ueber die Untersuchungsweise der Trinkwasser, die vom Verein adoptirt wurde, ist noch besonders zu bemerken, dass die Untersuchung jedes Brunnens (an Zahl 120) mindestens einmal im Monat auf Verdampfungsrückstand, Chlor- und Salpetersäuregehalt geschicht. Die Bestimmung der organischen Substanzen mittelst Chamäleonlösung wurde fallen gelassen, weil es unglaublich schwer ist, ganz reines destillirtes Wasser zur Bestimmung des Titres zu erhalten und weil die wiederholte Untersuchung eines und desselben Wassers ziemlich verschiedene Resultate geben kann, je nachdem man mehr von oben oder vom Grunde der Flasche die Proben entnimmt, selbst wenn kein sichtbarer Bodensatz vorhanden ist.

Dagegen wurde auf Anrathen von Herrn Dr. Harz, Privatdocent der Botanik an der technischen Hochschule dahier, seit Beginn dieses Jahres die mikroskopische Untersuchung der Brunnenwasser in Angriff genommen.

Da die erwähnten Beobachtungen zur hygienischen Ueberwachung einer Garnison nothwendig erscheinen, da es nicht ausbleiben wird, dass dieselben mit der Zeit zu einem integrirenden Bestandtheil der militärärztlichen Dienstleistung erhoben werden, so dürfte es sich jedenfalls empfehlen, dass sich die Militärärzte einstweilen freiwillig zu diesen Arbeiten vorbereiten. Wenn sich in einer Garnison eine Anzahl von Militärärzten verbindlich macht, diese Untersuchungen auszuführen, so werden sicherlich die nöthigen Geldmittel überall ebenso bereitwillig gewährt werden, wie es für die Münchener Garnison der Fall war. Nirgends findet sich so viel disponible Kraft als bei den Militärärzten, nirgends können die ätiologischen Untersuchungen mit grösserer Aussicht auf Erfolg anangestellt werden, als in den Kasernen, nirgends können sie in grossartigerem Style und gleichmässiger durchgeführt werden als bei der Armee, darum wird und muss es soweit kommen, dass der Schwerpunkt der ätiologischen Forschung in die Armee verlegt wird. Und da von richtigen hygienischen Maassregeln nicht nur der Erfolg der Feldzüge, sondern auch das Gedeihen der Armee im Frieden abhängt, so ist eine tägliche praktische Uebung auf diesem Gebiete für die Militärärzte ein wirkliches Bedürfniss. Auf diesem Gebiete können die Militärärzte der Armee mit der Zeit ganz andere Dienste leisten als mit der Behandlung innerlicher und äusserlicher Schäden. Aber dieses Gebiet beherrschen wir noch nicht, wir müssen es erst erobern durch angestrengte Arbeit. Es ist nicht nur im Interesse der Armee, sondern auch im Interesse der Militärärzte selbst zu wünschen, dass mit dieser Arbeit je eher desto besser auf allen Punkten begonnen werde.

Diesen Wunsch sendet nebst Collegengruss den deutschen Militärärzten der Münchener Militärärztliche Verein für Aetiologie.

---

# Beiträge zur Lehre von der Eiweisszersetzung im Thierkörper [1].

Von

**Dr. J. Forster,**

Privatdozent für Hygiene.

(Aus dem physiologischen Institute zu München.)

## Einleitung.

Wenn auch in früherer Zeit schon unter den in der Nahrung des Thierkörpers enthaltenen Stoffen die eiweissartigen Substanzen als nothwendige Bestandtheile erkannt worden waren (Prout), so schrieb doch erst Liebig dem Eiweisse der Nahrung in Bezug auf die Erhaltung des Körpers bestimmte Aufgaben zu. Während nach ihm die stickstofffreien organischen Substanzen des Thierkörpers und seiner Nahrung bei ihrer Oxydation, welche gemäss der Menge des durch die Lungen ins Blut aufgenommenen Sauerstoffs stattfände, die dem Thiere nöthige Eigenwärme lieferten, hätten die in der Nahrung enthaltenen stickstoffhaltigen Eiweisskörper im Vereine mit gewissen Aschebestandtheilen zum beständigen Ersatze der den Körper zusammensetzenden, aber in lebhaftem Wechsel begriffenen Gewebe und Säfte zu dienen. Dieser rasche Wechsel der Organe wäre bedingt durch die Zersetzung des dieselben bildenden Eiweisses, welche, wie Liebig theils aus Untersuchungen thierischer Gewebe und Flüssigkeiten, theils aus dem Verhalten gewisser thierischer Stoffe chemischen Reagentien gegenüber schloss, in der Weise vor sich gehen soll, dass durch Sauerstoffaufnahme aus den complicirten Stoffen immer einfachere entstehen, die schliesslich für den Körper nicht mehr brauchbar aus diesem ausgeschieden

1) Vergl. meine Mittheilung an die bayer. Akad. d. Wissensch., Sitz. der math.-phys. Classe vom 3. Juli 1875. —

werden. Die Ursache aber für die beständig vor sich gehende Zersetzung des die Organe aufbauenden Eiweisses wäre nach Liebig die von denselben geleistete mechanische Arbeit, mit deren Grösse auch die Grösse des Eiweissverbrauches, des „Stoffwechsels", steigen und fallen müsste.

Gleichzeitig gab Liebig für die Grösse der Eiweisszerstörung ein Maass in der Menge der letzten stickstoffhaltigen Zersetzungsprodukte, speziell des Harnstoffes, welche, wie er schloss, sämmtlich in den festen und namentlich den flüssigen Ausscheidungen den thierischen Körper verliessen.

Als nun durch die Liebig'schen Ideen angeregt Experimente zur Prüfung des s. g. thierischen Stoffwechsels unternommen wurden, zeigte sich alsbald, dass mehr als die tägliche Arbeit, ja hauptsächlich die Eiweissmenge in der Zufuhr für die Ausscheidung des Stickstoffes oder Harnstoffes aus dem Körper, also für die Eiweisszersetzung in demselben bestimmend wirke (Lehmann). Sodann gründete Frerichs[1]) auf eine Anzahl von Versuchen gestützt die als Lehre von der Luxusconsumption bekannte Hypothese, die späterhin von Bidder und Schmidt[2]) weiter ausgeführt wurde. Hienach würde unter dem Einflusse der Arbeit nur eine gewisse Menge von stickstoffhaltigen Organbestandtheilen verbraucht und zwar eine Menge, welche durch die Menge des bei der Arbeit während des Hungerzustandes ausgeschiedenen Stickstoffes gemessen werden könnte; alles Eiweiss, das über dieses Maass mit der Nahrung in den Thierkörper eingeführt würde, diente demgemäss nicht zum Ersatze der zerstörten Gewebe, zum Wiederaufbau organisirter Gebilde, sondern würde ebenso wie die stickstofffreien organischen Substanzen der Nahrung im Blute verbrannt. Jede die beim Hunger zerstörte Menge von Eiweiss überschreitende Eiweisszufuhr wäre daher als ein für die Erhaltung der Körpertheile nicht nöthiger Luxusverbrauch zu betrachten.

Für die Zersetzung des Eiweisses im Thierkörper wären somit nach dieser Anschauung zwei Ursachen wirksam: 1) Die körper-

1) Müller's Arch. 1848, S. 469.

2) Die Verdauungssäfte und der Stoffwechsel. 1852.

liche Arbeit, welche eine fortgehende Abnutzung und Zerstörung der organisirten Gebilde, namentlich der Muskeln, bedingte, und 2) die oxydirende Wirkung des Blutes auf die im Ueberschusse eingeführten Eiweissstoffe.

Trotz der hartnäckigen Bemühungen Bischoffs[1]), die ursprüngliche Ansicht Liebig's, wonach im Körper nur organisirtes Eiweiss zu Grunde ginge und das Eiweiss der Nahrung stets und vollständig zum Ersatze der zerstörten Organe diente, aufrecht zu erhalten, hatte man ziemlich allgemein die Frerichs'sche Lehre von der Luxusconsumption angenommen, da sie am meisten den vorliegenden experimentellen Thatsachen zu entsprechen schien und dieselben anscheinend einfach erklären liess.

Nun hatte sich aber bei allen bisherigen Untersuchungen ein bemerkenswerther Mangel ergeben. Es konnte nämlich der innerhalb gewisser Zeit mit den Eiweisssubstanzen in den Thierkörper eingeführte Stickstoff nicht sämmtlich in den entsprechenden festen und flüssigen Ausscheidungen des Körpers, in Harn und Koth, aufgefunden werden. Das Ergebniss einiger Versuche von C. Schmidt und Bischoff, bei welchen in der That die Stickstoffmenge der Zufuhr der im Harne entsprach, war zu vereinzelt und schien gewissermaassen ein Werk des Zufalls zu sein. Da nun bei dem erwachsenen Organismus an ein massenhaftes Aufspeichern des zugeführten Eiweisses nicht zu denken war, so nahm man an, dass ein gewisser Antheil der Eiweisssubstanzen, dessen Grösse in den beliebigsten Grenzen nach den verschiedenen Experimenten sich bewegen konnte, bei der Zersetzung im Körper den gebundenen Stickstoff gasförmig austreten lasse, welch' letzterer alsdann durch Haut und Lungen ausgeschieden würde. Die Summe des Stickstoffes, welcher im Harne und Kothe nicht gefunden und sonach als gasförmiges Zersetzungsprodukt des Thierkörpers gedacht wurde, ist unter dem Namen des Stickstoffdefizit's bekannt geworden. Durch zahlreiche, lange Jahre hindurch fortgesetzte Untersuchungen, in welchen die Fehlerquellen der früheren Versuche aufgesucht und vermieden wurden, bewies Voit, dass das angenommene Stickstoff-

1) Der Harnstoff als Maass des Stoffwechsels. Giessen, 1853.

defizit nicht existire, dass keine nur irgendwie nennenswerthe Menge von Stickstoff in gasförmigem Zustande als Zersetzungsprodukt des Thierkörpers diesen verlassen könne, sondern dass in der That der im Harne und theilweise im Kothe ausgeschiedene Stickstoff das Maass für die Eiweisszersetzung im Thierkörper bilde, wie das Liebig angenommen hatte. Späterhin wurden die anfänglich heftig angegriffenen Erfahrungen Voit's von allen Seiten bestätigt.

Auf dem so geschaffenen Boden weiter bauend gelangte Voit allmählig zu bestimmteren Anschauungen über die Eiweisszersetzung im Thiere. Die mit allen Cautelen angestellten Experimente bewiesen einmal, dass die Arbeitsleistungen des Organismus keinen Einfluss auf die Grösse der Eiweisszersetzung in demselben üben. Aber auch der Einfluss der Eiweissmenge in der Nahrung ist wenn auch in hohem Grade vorhanden, dennoch kein völlig unmittelbarer und namentlich nicht in dem Sinne wirksam, wie es sich die Anhänger der Lehre von der Luxusconsumption vorgestellt hatten, dass nämlich jeder Ueberschuss des eingeführten Nahrungseiweisses sofort im Blute oxydirt würde, sondern der Zerfall des Eiweisses im Körper geht nach bestimmten innern Ursachen vor sich, welche man in der Wechselwirkung eines von der Art und Mischung der Nahrungszufuhr abhängigen Ernährungsstromes mit der Masse der den Körper aufbauenden Organe suchen muss.

Die Eiweisssubstanzen des Thierkörpers betheiligen sich nämlich nicht in gleichem Maasse an dem Zerfalle: Von einem Theile derselben, der mit Wasser und den Aschebestandtheilen die Hauptmasse der organisirten Gebilde zusammensetzt und desshalb von Voit mit dem Namen des Organeiweisses belegt wurde, wird wie die Eiweisszersetzung beim Hunger im Vergleiche mit der vorhandenen Körpermasse und dem Eiweisszerfalle bei Nahrungszufuhr zeigt, im Verlaufe eines Tages nur ein geringer Bruchtheil zerstört, der bei verschiedenen Organismen in den zahlreichen Versuchen etwa ein Prozent des Gesammteiweisses im Körper betrug. Ein zweiter Theil, dessen Menge von der Quantität und Mischung der Nahrung abhängig, doch relativ zur Körpermasse stets nur gering ist, und der als Ernährungsmaterial die Körpertheile durchkreist, das von Voit sogen. circulirende Eiweiss, findet im Organismus die

Bedingungen des Zerfalls in hohem Grade, so zwar dass unter verschiedenen bekannten und unbekannten Einflüssen zwar mehr oder weniger, aber stets ein grosser Antheil davon zerstört wird.

Die Gesammtzersetzung des Eiweisses im Thierkörper hängt daher 1) von der Masse der relativ stabilen Organe und 2) von der Grösse des ihnen zugeführten eiweisshaltigen Ernährungsstromes ab, etwa so wie die Grösse der Zersetzung von Traubenzucker in Alkohol und Kohlensäure durch Hefezellen im Wesentlichen auch von der Menge der vorhandenen Zellen und der Quantität des denselben zugeführten Zuckers bestimmt wird. Nicht also die mechanischen Leistungen des Organismus und nicht der verwendbare Sauerstoff des Blutes bewirken sonach den Zerfall der Eiweisssubstanzen, sondern dieser geht bedingt durch den jeweiligen Zustand des Körpers d. h. durch das Mengen-Verhältniss der Organmasse und des Ernährungsstromes vor sich. Jede bestimmte Zufuhr schafft einen bestimmten Körperzustand und eine dem letztern entsprechende Eiweisszersetzung, jede Veränderung der Zufuhr muss aber hienach auch eine Veränderung des Körperbestandes bewirken. Demnach ist auch leicht einzusehen, dass, um einen einmal gegebenen Bestand des Körpers an Eiweiss zu erhalten, nicht eine Eiweisszufuhr genügt, die der Zersetzung beim Hunger entspricht, sondern dass es hiezu einer grössern und durch die Art der Nahrung bestimmten Eiweissmenge bedarf, die zu diesem Zwecke als Nothwendigkeit erscheint; von einer Luxusconsumption des Eiweisses im Körper kann daher nicht mehr die Rede sein[1]).

Gegen die auf zahlreiche Versuche gegründete Annahme Voit's, dass die eigentlichen Organtheile des Körpers, also insbesondere die organisirten Gebilde, wie Muskelfasern etc., nur in geringem Grade Wandlungen erfahren, während eine ihnen in einem Säftestrom ständig zugeführte und dieselben ernährende Eiweisslösung in ihnen rasch verbraucht wird, hatte sich Hoppe-Seyler[2]) ausgesprochen, indem er die erste Vorstellung Liebig's vertrat, dass näm-

1) Vergl. in dieser Bez. Voit, Bemerkung über die s. g. Luxusconsumption, Zeitschr. f. Biol., Bd. 4, S. 517.

2) Ueber d. Ort d. Zersetzung von Eiweiss- und andern Nährstoffen im thierischen Organismus. Pflüg. Arch. f. d. ges. Physiol. 1873, Bd. 7, S. 399 u. ff.

lich im Thierkörper ein ausserordentlich rascher Verbrauch der Organbestandtheile erfolge, die durch die Eiweisssubstanzen in der Nahrung alsbald wieder neu aufgebaut würden. Der Zerfall der organisirten Theile hinge jedoch nach Hoppe's Meinung nicht, wie Liebig glaubte, von der mechanischen Leistung der Organe ab, sondern von der durch die Nahrung zugeführten Eiweissmenge: je grösser die Eiweisszufuhr, desto grösser müsste der Zerfall und Wiederaufbau von Zellen im Körper, je geringer die Zufuhr, desto geringer auch der Wechsel der organisirten Gebilde sein.

Sich stützend auf frühere und neuere Ernährungsversuche, namentlich mit Bezugnahme auf die Grösse der Eiweisszersetzung bei Fütterung mit Leim oder leimgebendem Gewebe, hielt Voit[1]) seine Lehre von der relativen Stabilität der Organe des Thierkörpers und der Ursache der Eiweisszersetzung aufrecht.

Neben den Gründen nun, welche Voit entwickelte, sprechen für die Anschauung, dass die Organe, speziell die organisirten Theile nur in geringem Grade an dem Zerfalle sich betheiligen, während das jenen zugeführte Ernährungseiweiss in denselben reichlich verbraucht wird, die von mir angestellten Versuche der Fütterung mit einem Gemische von salzarmen Nahrungsstoffen, über deren Resultate ich bereits ausführlich berichtet habe[2]). Es zeigte sich nämlich, dass bei einer solchen Fütterungsweise trotz einer sehr grossen Eiweisszersetzung im Körper die Ausscheidung von Aschebestandtheilen gegenüber der Menge des ausgeschiedenen Harnstoffes ausserordentlich verringert ist und dass der Gehalt der Organe an Aschebestandtheilen auch nach längerem Salzhunger nur sehr wenig abnimmt. Die nächste Erklärung für diese Thatsache ist natürlich die, dass die salzarmen Eiweissstoffe, die von den Versuchsthieren aufgenommen worden waren, in dem Körper derselben gleich dem circulirenden Eiweisse zerfallen, während die salzhaltigen Organbestandtheile der Thiere nur in unerheblichem Grade die Bedingungen des Zerfalles findend bestehen bleiben. Als absoluter Beweis

1) Bemerkungen über die Bedeutung des leimgebenden Gewebes für die Ernährung. Zeitschrift f. Biol. 1874, Bd. 10, S. 202—245.

2) Versuche über die Bedeutung der Aschebestandtheile in der Nahrung. Zeitschrift f. Biol. Bd. 9, S. 297—381.

für die Stabilität der die Organe zusammensetzenden Eiweisssubstanzen kann dies jedoch nicht erscheinen, da hier immerhin noch der Einwand möglich bliebe, dass die bei der Zersetzung der organisirten Theile frei werdenden Aschebestandtheile in ausgedehntem Maasse zur Wiederverwendung im Körper gelangen, indem sie mit den von den Verdauungswegen aufgenommenen salzarmen Eiweissstoffen sich vereinigend zum Wiederaufbau der organisirten Gebilde dienen könnten. Thatsächlich war es mir ja gelungen, eine Wiederverwendung des Chlors zu beweisen und die der Phosphorsäure und anderer Aschebestandtheile in geringem Maasse als wahrscheinlich darzustellen.

Bei solcher Sachlage musste sich mir natürlich der Wunsch aufdrängen, einen direkteren Beweis dafür beizubringen, dass die eigentlichen Organbestandtheile des Körpers, Voit's Organeiweiss, nur in geringem Maasse einem Wechsel unterliegen, dass dagegen die in dem Ernährungsstrome den Körper durchkreisenden Eiweissstoffe, deren Menge hauptsächlich von der Zufuhr abhängt, Voit's circulirendes Eiweiss, in jenen verbraucht werden. Der Weg für eine solche Beweisführung erschien klar vorgezeichnet: gelänge es nämlich, dem Körper eine gewisse Menge von Eiweisssubstanzen in Form eines lebenden Organes einzuverleiben, so müsste, wenn unsere Annahme richtig ist, die Grösse der Eiweisszersetzung sich hiebei ganz anders gestalten als dann, wenn die gleiche Eiweissmenge gefüttert würde; jene, als dem Organeiweisse zugehörig, dürften im Körper nicht sofort zerfallen, und es könnte nunmehr keine Vermehrung der stickstoffhaltigen Zerfallsprodukte in den Ausscheidungen, wie sie bei einer Vermehrung der Eiweisszufuhr in der Nahrung unter bekannten Bedingungen constant auftritt, beobachtet werden.

Die nachfolgenden Zeilen sollen sich mit der Lösung der hiemit gestellten Aufgabe beschäftigen.

## I.

## Die Eiweisszersetzung im Thierkörper bei Transfusion von Blut und bei Eiweissfütterung.

Zur Entscheidung der Frage, ob das die Organe aufbauende Eiweiss im Körper eine gewisse Stabilität besitze, müssen wesentlich

zwei Dinge möglich sein: einmal muss man im Stande sein, dem gesunden Körper ohne besondere Funktionsstörungen ein lebendes Organ einzupflanzen, und zweitens muss dies in einer Quantität geschehen können, dass hiebei aus der Ausscheidungsgrösse der stickstoffhaltigen Zerfallsprodukte mit Sicherheit auf das Verhalten des in den Körper gebrachten Organeiweisses geschlossen werden kann.

Bekanntlich ist das Blut als ein Organ zu betrachten, welchem gleich andern Organen des Thierkörpers ganz bestimmte Funktionen zukommen. Dafür nun, dass die das Blut in seiner Gesammtheit bildenden Eiweissstoffe dem Voit'schen Organeiweisse, das stets nur in geringem Grade der Zersetzung anheimfällt, zugerechnet werden müssen, spricht neben andern Gründen vorzüglich die von Heidenhain[1]), Panum[2]) und Voit[3]) festgestellte Thatsache, dass auch bei lange dauerndem Hungerzustande weder die Gesammtblutmenge noch die Blutzusammensetzung verschiedener Thiere sich in besonderer Weise ändert, eine Thatsache, die durch Subbotin's[4]) Untersuchungen, an denen ich persönlich genauen Antheil genommen habe, bestätigt wurde.

Nachdem nun schon O. Schneider[5]) unter Nasse's Leitung bei Injektion kleinerer Mengen von Blut in die Gefässe eines normalen Thieres, wodurch er eine künstliche Plethora zu schaffen beabsichtigte, keine besonderen Störungen in den normalen Funktionen seiner Versuchsthiere beobachtet hatte, zeigte insbesondere Worm Müller[6]) in einer grössern Anzahl von Versuchen, welche er in Ludwig's Laboratorium angestellt hatte, und die späterhin von Lesser[7]) weiter ausgeführt wurden, dass man unter Beobachtung gewisser Vorsichtsmaassregeln in das Gefässsystem eines Hundes zu dem bereits in dessen Körper vorhandenen Blute ganz beträchtliche

1) Disqu. crit. exp. etc. Halis, 1857.

2) Exper. Unters. über d. Veränd. d. Mengenverhältnisse des Blutes und seiner Bestandtheile durch Inanition. Virch. Arch. Bd. 29, 1864.

3) Zeitschrift f. Biologie, Bd. II, S. 531 u. ff.

4) Ebenda. Bd. 7, S. 187.

5) Stoffwechsel bei künstl. Plethora u. Anämie. Inaug.-Dissert.; Marburg, 1861.

6) Arbeiten aus der physiol. Anstalt zu Leipzig. 8. Jahrgang, S. 159—251.

7) Ebenda. 9. Jahrgang, S. 50—[illegible]0.

Mengen von Blut anderer Hunde einspritzen könne, ohne dass hienach Blutaustritte oder Exsudationen im Körper bemerkt werden konnten. W. Müller schloss hieraus, dass das gesammte injicirte Blut als solches in den ausgedehnten Gefässen der Versuchsthiere sich erhalten habe. Zugleich wurde gefunden, dass die Thiere, deren Blutmenge auf solche Weise vermehrt worden war, ohne bemerkbare Zeichen gestörter Gesundheit fortzuleben vermochten. Zu ganz ähnlichen Resultaten gelangte später auch Ponfick[1]), der aus mikroskopischen Untersuchungen des Blutes, sowie aus der Beobachtung des spezifischen Gewichtes des Harnes von Versuchsthieren bei künstlicher Blutüberfüllung schloss, dass das in die Gefässe eines Thieres eingeführte Blut gleichartiger Thiere in seinen Formbestandtheilen erhalten bliebe.

Den erwähnten Beobachtungen zufolge war somit die Möglichkeit gegeben, in einen Organismus durch Transfusion von Blut in das normal gefüllte Blutgefässsystem ohne Gefahr einer Störung grössere Mengen von Eiweissstoffen einzuführen, die dem von Voit sogen. Organeiweisse angehörten. Zur Controle der Eiweisszersetzung hiebei, wodurch die mir vorliegende Frage zur Entscheidung gebracht werden sollte, führte ich nun eine Anzahl von Versuchen aus, wie solche fast gleichzeitig[2]) auch in Ludwig's Laboratorium durch Tschiriew[3]) von einem andern Gesichtspunkte aus unternommen wurden.

Will man aus der Stickstoffausscheidung durch Harn und Koth auf den Einfluss schliessen, den gegebene Umstände auf die Eiweisszersetzung im Thierkörper ausüben, so genügt es natürlich nicht, die Menge von Stickstoff, welche innerhalb einer bestimmten Zeit, etwa in 24 Stunden, dem Organismus zugeführt wurde, mit der Stick-

1) Virch. Arch. Bd. 62, S. 273 u. ff.

2) Bereits im Anfange des Sommersemesters 1874 hatte ich mit den Vorbereitungen zu obigen Versuchen begonnen. Mitten in denselben jedoch traf mich die ehrende Aufforderung Prof. v. Pettenkofer's, während seiner Theilnahme an den Sitzungen des internationalen Choleracongresses zu Wien an seiner Stelle die Fachvorlesung über Hygiene an hiesiger Universität zu übernehmen. Dieser Umstand verhinderte mich natürlich an der Vollendung der Versuche, die ich sodann erst wiederum in den folgenden Herbstferien aufnehmen konnte.

3) Arbeiten aus der physiol. Anstalt zu Leipzig. 9. Jahrgang, S. 292—308.

stoffmenge, die in der gleichen Zeit während der zu erforschenden Wirkung einer veränderten Bedingung vom Körper abgegeben wird, in Vergleich zu setzen. Insbesondere für den Zweck der Blutinjektionsversuche kann ein solches Verfahren nicht genügen. Gerade zu diesen Versuchen muss man in den gewählten Versuchsthieren einen Körperzustand herstellen, bei dem die geringste Aenderung in der Zufuhr von Eiweissstoffen sich sofort durch eine entsprechende Veränderung der Quantität der stickstoffhaltigen Ausscheidungsproducte im Harne erkennen lässt. Ein solcher Zustand lässt sich nach Voit's Erfahrungen bekanntlich leicht schaffen. Beim hungernden Organismus sinkt nämlich die tägliche Stickstoffausscheidung durch Harn und Koth allmählig und wird nach einiger Zeit annähernd constant d. h. sie bleibt alsdann von einem Tage auf den andern ziemlich gleichmässig auf einer sehr geringen Höhe, welche der Masse der den Körper bildenden Organe ungefähr entspricht. Dieser sog. Hungergleichgewichtszustand tritt um so eher ein, je fettärmer und auch je jünger, und um so später, je älter und wohlgenährter das hungernde Thier war. Werden nun an einem der spätern Hungertage, wenn das Hungergleichgewicht erreicht ist, nicht allzugrosse Mengen von Eiweiss ohne Zusatz von stickstofffreien verbrennlichen Substanzen in den Organismus eingeführt, so werden diese alsbald zersetzt, ohne dass dadurch die auf den Fütterungstag treffende Eiweisszersetzung des Hungerzustandes aufgehoben wird. Nur bei Darreichung einer sehr grossen Menge von Eiweiss allein wird bekanntlich eine die Zufuhr übersteigende Zersetzung im Körper und ein weiterer Eiweissverlust in diesem Zustande verhütet, oder es kann selbst ein geringer Ansatz von stickstoffhaltiger Substanz in geringer Menge stattfinden. Im ersterwähnten Falle jedoch, bei geringen Eiweissmengen in der Zufuhr, erscheint an dem Fütterungstage die Stickstoffmenge des Hungergleichgewichtszustandes in Harn und Koth annähernd vermehrt um die Stickstoffmenge, die der eingeführten Eiweissquantität entspricht.

Ein zweites Erforderniss ist sodann, dass der Harn der Versuchsthiere, in dem ja der weitaus grösste Theil der stickstoffhaltigen Zersetzungsprodukte des Thierkörpers ausgeschieden wird, stets sorg-

fältig und vollständig erhalten werden kann. Da in meinen Versuchen die Stickstoffausscheidung genau für je 24 Stunden controlirt werden musste, so genügte es natürlich nicht, das Versuchsthier in einen Käfig einzuschliessen und den willkührlich entleerten Harn in Gefässe ablaufen zu lassen und etwa mit Wasser nachzuspülen. Selbst bei den sorgfältigsten Einrichtungen der Versuchskäfige in dieser Weise ist man bekanntlich bei der Beurtheilung der ausgeschiedenen Stickstoffmenge immer noch erheblichen Irrthümern ausgesetzt, da Verluste des entleerten Harnes und namentlich unregelmässige Entleerung der Harnblase von Seiten der Versuchsthiere und dadurch Schwankungen der täglichen Harnmenge u. dgl. kaum zu vermeiden sind. Die in solchem Falle etwa an einem Versuchstage erhaltene Harnmenge ist dann natürlicherweise kein richtiges Maass für den während des Versuchstages gebildeten Harn. Es müssen daher zu den beabsichtigten Versuchen stets grössere Hunde benützt werden, die Harn und Koth nicht in dem Käfige, sondern ausserhalb desselben in untergehaltene Gefässe zu entleeren gewöhnt wurden.

Die früheren Versuche O. Schneider's[1]), den Eiweissumsatz bei künstlicher Plethora zu prüfen, hatten gerade aus dem Grunde zu keinem Resultate geführt, weil derselbe damals mit den eben angegebenen Erfordernissen, den Ergebnissen der Voit'schen Ernährungsversuche, nicht bekannt sein konnte. Um so mehr muss bei neuen Untersuchungen hierauf geachtet werden, und dass ich, der ich seit Jahren an solchen Experimenten Antheil zu nehmen in der Lage war, jenen vollständig Rechnung trug, brauche ich wohl nur zu erwähnen.

Dem entsprechend wurden die von mir unternommenen Versuche folgendermaassen angeordnet. Als Versuchsthiere wurden grössere Hunde mit einem Körpergewichte von etwa 20 und 40 Kilogramm gewählt. Diese erhielten am Anfange der Versuchsreihe 40—60 Gramm reiner Knochen zur Abgrenzung des auf die Reihe treffenden Kothes, sodann wenn der vorausgehende Ernährungszustand es verlangte, für ein paar Tage eine solche Quantität magern Fleisches, durch welche zwar ein grösserer Eiweissverlust vom Körper, nicht aber eine Fettabgabe vermieden wird. Auf die Fleischfütterung

1) A. a. O.

folgte eine gänzliche Nahrungsentziehung, wobei jedoch den Thieren eine beschränkte Menge von Wasser vorgesetzt wurde. Am Schlusse der Reihe wurden wieder Knochen gefüttert. Der Harn wurde von den Thieren regelmässig und zur bestimmten Zeit in das untergehaltene Gefäss entleert und in der auf je 24 Stunden treffenden Portion der Stickstoffgehalt durch Verbrennen mit Natronkalk nach der Schneider'schen Methode, meist aber, da bei der letzteren in concentrirtem Hungerharne manchmal etwas zu niedrige Werthe erhalten werden[1]), der Harnstoffgehalt durch die Liebig'sche Titrirmethode, die bekanntlich nach Voit die im Harne enthaltene Stickstoffmenge ergibt, bestimmt.

War die Harnstoffmenge von 24 Stunden nach Verlauf einiger Hungertage auf das erwartete Hungerminimum herabgesunken, so wurde am Anfange eines Versuchstages eine bekannte grössere Menge von auf 30—35° C. erwärmtem Blute, welches ich kurz vorher aus der art. carotis eines andern grossen Hundes entnommen und sofort defibrinirt hatte, in die ven. jugularis des Versuchsthieres mittelst einer Spritze vorsichtig und langsam transfundirt, wobei jede grössere Verwundung des Thieres und jeder Blutverlust sorgfältig vermieden wurde. Während der Operation trat auch keine Harnentleerung ein, wie sie Lesser[2]) an kleinern Thieren beobachtete; ich habe überhaupt, was ich als für alle nachfolgenden Versuche giltig erwähne, bei den dressirten grössern Hunden nur beim erstmaligen Aufbinden auf den Operationstisch das Auspressen einiger Cubikcentimeter Harnes bemerkt, welche stets leicht und ohne die geringste Einbusse aufgefangen werden konnten. Leicht begreiflicher Weise erfolgt dann gar keine derartige Harnentleerung, wenn die Operation unmittelbar zu Beginn des Versuchstages, also sofort nach der letzten Harnentleerung des vorausgehenden Tages gemacht wird.

1) Dies ist namentlich dann der Fall, wenn man gezwungen ist, die Verbrennungen bei niedrigem Brenngasdrucke auszuführen, was hier in München zur Zeit leider häufig vorkommt. Es bleibt dann im Verbrennungskolben leicht Ammoniak zurück, das nur sehr schwer durch die enge Steigröhre in die vorgelegte Säure übergeführt werden kann.

2) a. a. O.

Da nun durch das Defibriniren das Blut weder in seinen chemischen Bestandtheilen (Hoppe-Seyler), noch in seinen Lebenseigenschaften (Panum, Landois u. a.) sehr wesentlich verändert wird, so hatte ich mit der Injektion desselben die Einpflanzung eines lebenden Organes in einen normalen Organismus vollendet.

Die ersten Versuche nun, welche ich im Verlaufe des September 1874 unternommen, missglückten dadurch, dass die Versuchsthiere bald nach der Bluttransfusion zu Grunde gingen und zwar wie ich vermuthe, in Folge von Embolien durch Fibrinflöckchen, die in dem injicirten Blute vielleicht noch enthalten waren. Ich hatte nämlich das defibrinirte Blut durch einen feinen Leinenlappen colirt und so zur Verwendung gebracht. In den folgenden Versuchen aber wurde das geschlagene Blut durch sehr feine Leinwand zweimal sorgfältig colirt und jetzt erst in die Venen der Versuchsthiere eingespritzt. Nun konnte ich in dem Befinden dieser weder am Versuchstage selbst, noch späterhin irgend eine ungünstige Veränderung wahrnehmen; die Thiere verhielten sich in allen ihren Aeusserungen, namentlich in Bezug auf die Harnentleerung völlig normal.

Ich theile nun in den nachstehenden Tabellen, deren Anordnung keiner weitern Auseinandersetzung bedarf, die Resultate von zwei völlig ohne Störung verlaufenen Versuchen mit:

I. Blutinjektionsversuch, 18.—30. November 1874.
Körpergewicht des Hundes: 20.6—19.5 Kilogr.

| Versuchstag. | Harnmenge in Cc. | Harnstoff. | +U. aus N. berechn. | Koth frisch. | Koth trocken. | Bemerkungen. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1. | 485 | 49.9 | — | — | — | 600 Gr. Fleisch. |
| 2. | 383 | 45.1 | — | — | — | 600 Gr. Fleisch. |
| 3. | 178 | 17.5 | — | — | — | 40 Gr. Knochen |
| 4. | 155 | 14.3 | — | Knochenkoth. | | Hunger. |
| 5. | 162 | 11.6 | — | — | — | " |
| 6. | 374 | 15.2 | 14.8 | — | — | 374 Cc. Hundeblut in die ven. jugul. injicirt[1]) |

1) 374 Cc. Blut = 394.6 Gr. mit 90.6 Gr. festen Theilen und 15.06 Gr. Stickstoff. 100 Gr. Blut = 22.97 Gr. trocken mit 3.817 Gr. Stickstoff.

| Versuchs-tag. | Harn-menge in Cub.-Ctmr. | Harnstoff. | $\overset{+}{U}$. aus N. berechn. | Koth frisch. | Koth trocken. | Bemerkungen. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 7. | 278 | 16.0 | 16.0 | 15.8 | 7.4 | Hunger. |
| 8. | 194 | 14.5 | 13.6 | — | — | „ |
| 9. | 228 | 15.6 | 15.9 | — | — | „ |
| 10. | 257 | 16.8 | 17.0 | — | — | „ |
| 11. | 499 | 40.8 | 41.8 | — | — | 375 Gr. Fleisch[1]) |
| 12. | 249 | 19.1 | 19.4 | — | — | Hunger. |
| 13. | 223 | 18.4 | 19.0 | — | — | „ |
| 14. | — | — | — | 69.9 | 27.3 | Knochen. |

II. Blutinjektionsversuch, 30. März — 9. April 1875.
Körpergewicht des Hundes: 35.8—32.8 Kilogramm.

| Versuchs-tag. | Harn-menge in Cub.-Ctmr. | Harnstoff. | Phosphor-säure im Harne. | Koth frisch. | Koth trocken. | Bemerkungen. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1. | 836 | 29.6 | — | — | — | Hunger. |
| 2. | 800 | 15.9 | — | — | — | „ |
| 3. | 542 | 14.1 | 1.43 | — | — | „ |
| 4. | 1580 | 17.5 | 1.52 | 45.5 | 16.0 | 611 Gr. Blut injicirt[2]) |
| 5. | 709 | 16.8 | 1.08 | — | — | Hunger. |
| 6. | 589 | 16.7 | 1.10 | — | — | „ |
| 7. | 462 | 16.3 | 1.15 | — | — | „ |
| 8. | 447 | 19.5 | 1.23 | — | — | 60 Gr. Knochen. |
| 9. | 610 | 36.2 | 2.00 | — | — | 600 Gr. Fleisch. |
| 10. | 753 | 34.8 | — | 67.8 | 26.5 | } je 600 Gr. Fleisch u. 250 Gr. Speck. |
| 11. | 808 | 38.9 | — | — | — | |

Ich habe nun noch zu erwähnen, dass weder an den Injektionstagen selbst noch an den darauffolgenden Tagen im Harne beider Thiere sich eine Spur von Eiweiss nachweisen liess, und dass durch die Gmelin'sche Probe damit wohl eine Farbenveränderung, wie sie jeder Hundeharn mehr oder weniger nach dem Grade seiner Concentration gibt, nicht aber die den Gallefarbstoffen charakteristische Reaktion erhalten wurde.

1) Mit 12.75 Gr. Stickstoff, entsprechend 27.3 Gr. Harnstoff.

2) 611 Gr. frisches defibrinirtes Blut = 125.7 Gr. trocken mit 19.92 Gr. Stickstoff und 0.684 Gr. Phosphorsäure.

100 Gr. Blut = 20.58 feste Theile
3.26 Stickstoff
0.112 Phosphorsäure.

In Bezug auf den Koth ist zu bemerken, dass sowohl dessen Menge, wie dessen Wasser- und Stickstoffgehalt — der letztere betrug stets etwa 6 Prozent der Trockensubstanz — dieselbe ist, wie sie beim Hunger überhaupt ausgeschieden wird, und zwar so unerheblich ist, dass sie bei der nachfolgenden Beurtheilung der ausgeschiedenen Stickstoffmenge gar nicht in Betracht gezogen werden kann.

Die Betrachtung der täglichen Harnstoffzahlen in beiden Versuchen gibt nun das übereinstimmende Resultat, dass durch die Transfusion selbst grösserer Mengen von Blut die Ausscheidung des Stickstoffes durch Harn und Koth nur in ganz geringem Maasse erhöht wird.

Wären die in Form eines lebenden Organes in den Körper eingeführten Eiweissstoffe daselbst zerfallen, so hätte sich in dem ersten Versuche eine Vermehrung des ausgeschiedenen Harnstoffes um etwas mehr als 30 Gr., im zweiten Falle um weit mehr als 40 Gr. ergeben müssen. Dem gegenüber ist die einige Tage andauernde Mehrausscheidung von Harnstoff nach der Injektion gegenüber der Hungerausscheidung verschwindend gering. Sie beträgt selbst in dem 2. Versuche, bei welchem der Versuchshund statt der gewöhnlich im Tage vorgesetzten 800 Cubikctmr. Wasser am Injektionstage durch ein Versehen fast die doppelte Wassermenge erhalten hatte, was die Vermehrung der Harnmenge (s. d. 2. Columne der Tabelle II) zum grössten Theile erklärt, nur etwas über 3 Gr. Harnstoff an diesem Tage[1]).

1) Nachdem bereits durch Bischoff und Genth wahrscheinlich gemacht worden, dass durch reichlichen Wassergenuss der Eiweissumsatz im Körper etwas gesteigert werde, hat Voit gezeigt (Untersuch. üb. d. Einfl. des Kochsalzes etc. etc, S. 61 u. Ztschr. f. Biol., Bd. 2, S. 333 u. ff.), dass und unter welchen Bedingungen durch eine sehr stark vermehrte Wasseraufnahme eine jedoch nur in geringem Maasse vermehrte Eiweisszersetzung erfolge. In neuester Zeit schreibt Tschiriew (a. a. O., S. 302 u. ff.), dem die Versuche u. Raisonnements Voit's anscheinend unbekannt geblieben sind, einem ganz geringen Wassergenusse einen verhältnissmässig grossen Einfluss auf die Zersetzung von Eiweiss im Thierkörper zu. Dass Tsch. bei seiner Methode des Harnauffangens selbst grössere Schwankungen der täglichen Harnstoffmenge finden musste, ist nach dem oben von mir Gesagten leicht erklärlich. Und dass hiebei die grössern Harnstoffzahlen ziemlich constant mit einer reichlichen Wasseraufnahme zusammentreffen, hängt von der

Wurde nun aber in derselben Reihe eine der injicirten Blutmenge gleiche Menge von Eiweissstoffen durch den Magen dem Körper zugeführt, wie es in beiden Versuchen durch Fütterung mit Fleisch geschah, so stieg die Harnstoffmenge im Verhältnisse zu der Eiweisszufuhr, und zwar wurde im 1. Versuche bei der geringen Fleischzufuhr von 375 Gr. am 11. Versuchstage (s. Tab. I) nicht bloss soviel Stickstoff im Harne ausgeschieden, als in der Zufuhr enthalten war, sondern wie erwartet, auch noch die Stickstoffmenge, welche bei der täglichen Hungerzersetzung geliefert wurde. Im 2. Versuche (Tab. II) bewirkte die Zufuhr von 60 Gr. Knochen, deren organische Grundlage zum grossen Theile verdaut werden kann[1]), am 8. Tage eine der geringen Stickstoffzufuhr entsprechende Steigerung der Harnstoffausscheidung, während bei der nunmehr folgenden

---

gleichen Ursache ab, die schon früher in Bischoff's Versuchen im Jahre 1853 gewirkt hatte. Bei einer reichlichen Wasseraufnahme wird nämlich in der Regel auch mehr, dafür aber verdünnter Harn entleert. Da nun aber der im Käfige unvermeidlich erfolgende Verlust dem Volum nach im Tage annähernd constant ist, so ist natürlicherweise der Verlust beim verdünnten Harne geringer, als bei dem concentrirten Harne, der bei Wasserentziehung entleert wird. Die tägliche Menge des Harnstoffs erscheint daher im ersten Falle, bei reichlichem Wassergenusse, stets etwas grösser als im zweiten Falle oder als dann, wenn die genossene Wassermenge zu gering ist, um einen Einfluss auf die Harnmenge zu üben. Bei letztern fand denn auch Tsch. selbstverständlich keinen Zusammenhang der täglichen Harnstoffzahl und der genossenen geringen Wassermenge.

Ich möchte hier noch eines bemerken: Tschiriew hat die Methode, im Harn u. Blute den Stickstoffgehalt durch Glühen mit Natronkalk zu bestimmen, dahin abgeändert, dass er den Harn oder das mit Wasser verdünnte Blut in eine mit Natronkalk etwas angefüllte Glasröhre einfliessen liess und sodann die Röhre weiter mit Natronkalk beschickte. Wenn man Harn — und wie ich glaube, auch verdünntes Blut — in ein Proberöhrchen fliessen lässt, das ein paar Messerspitzen Natronkalkes enthält, so entwickelt sich fast augenblicklich Ammoniak, wie man aus der sofortigen Bräunung eines über die Oeffnung des Proberöhrchens gelegten Streifens von befeuchtetem Curcumapapiere erkennt. Durch Diffusion des Gases sowohl als durch das nachfolgende Verdrängen der Luft in der Glasröhre während des Füllens mit Natronkalk muss an Verlust an Stickstoff bei diesem Verfahren entstehen. Man darf natürlicherweise aus dem Umstande, dass Tsch. auf solche Weise stets weniger Stickstoff in Harn und Blut bekam, als nach der Methode von Dumas, nicht den Schluss ziehen, dass letztere Methode richtigere Resultate gebe, als das von Will-Varrentrapp angegebene und richtig angewendete Verfahren.

1) Etzinger, Ztschr. f. Biol., Bd. 10, S. 98 u. ff.

Fütterung mit grossen Mengen Fleisch unter Zusatz von Fett eine weitere Stickstoffabgabe vom Körper des Versuchsthieres verhütet, aber immerhin etwa die der Zufuhr entsprechende Stickstoffmenge im Harne ausgegeben wurde.

In ganz gleicher Weise wie der Harnstoff verhält sich auch die Phosphorsäure, deren Menge im täglichen Harne ich im 2. Versuche (Tab. II) bestimmte. Die geringe Erhebung um etwa 0.1 Gr. am Injektionstage ist wohl nur auf den reichlichen Wassergenuss an diesem Tage zu schieben. Berechnet man aus Columne 3 und 4 der Tabelle II das mittlere Verhältniss der Phosphorsäure im Harne zum Harnstoffe vom 3.—7. Tage incl., also während des Hungers, so erhält man als Verhältnisszahl:

1 Phosphorsäure: 13 Harnstoff oder 6.07 Stickstoff.

Nach E. Bischoff[1]) aber verhält sich im Harne hungernder Hunde die Phosphorsäure zum Stickstoffe, wie 1 : 6.4. Es ist also auch die Phosphorsäureausscheidung ebensowenig, wie die des Harnstoffes durch die Injektion von Blut, welches fast 0.7 Gr. Phosphorsäure enthielt, geändert worden.

Zu ähnlichen Ergebnissen gelangte Tschiriew in seinen oben erwähnten Versuchen. Auch er fand, dass die Menge des während des Hungers ausgeschiedenen Stickstoffes durch Transfusionen von Blut nicht oder nur wenig vermehrt wurde, während bei Fütterung der coagulirten Eiweissstoffe des Blutes sofort die Eiweisszersetzung im Körper erheblich zunahm.

Es liegt sonach klar zu Tage, dass Eiweissstoffe, welche dem Thierkörper in der Form eines lebenden Organes einverleibt werden, sich in Bezug auf die Theilnahme an den Zersetzungen im Körper ganz anders verhalten als die durch den Darm aufgenommenen Eiweisssubstanzen. Selbst unter Umständen, bei welchen die geringste Eiweisszufuhr in der Nahrung eine sofortige und der Grösse der Zufuhr entsprechende Vermehrung des Eiweisszerfalls im Körper bewirkt, bleiben die Eiweissstoffe des in den Körper eingeführten Organes fast unversehrt erhalten. Ich glaube demnach den Beweis geführt zu haben, dass die die Zellen und Organe des

1) Diese Zeitschrift. Bd. 3, S. 321.

Körpers bildenden Eiweissstoffe, das Organeiweiss Voit's, stabil sind d. h. nur in sehr geringem Grade den Bedingungen der Zersetzung im Thierkörper anheimfallen, und dass es daher hauptsächlich die Eiweissstoffe eines die Organe durchkreisenden Ernährungsstromes, die für gewöhnlich durch die Nahrung ergänzt werden müssen, also Voit's circulirendes Eiweiss, sind, welche wohl innerhalb der Zellen etc., ohne jedoch vorher zum Aufbaue derselben gedient zu haben, die Ursachen ihrer Zersetzung finden[1]).

Der Umstand, dass bei der Transfusion von defibrinirtem Blute in die normal gefüllten Gefässe am Tage der Injektion und den darauffolgenden Tagen die Harnstoffzahl um ein Geringes höher erscheint als in der Periode des Hungergleichgewichtes, lässt sich auf verschiedene Weise erklären. Er wäre beispielsweise möglich, dass nur die in dem Blute enthaltenen organisirten Gebilde, insbesondere die rothen Blutkörperchen, bei der Transfusion erhalten blieben, während das im Serum in Lösung enthaltene Eiweiss allmählig zersetzt und hiedurch eine geringe Harnstoffvermehrung für den Tag bewirkt würde. So glaubt ja auch Panum[2]) in dem Blute hungernder Thiere nach Transfusion von Blut eine relative Vermehrung der rothen Blutkörperchen constatirt zu haben. In dem ersten Versuche (s. Tab. I,) bei welchem nur eine geringere

---

1) Fränkel (Mediz. Centralbl. 1875, S. 741.) beabsichtigt, an Stelle der Worte Organeiweiss und circulirendes Eiweiss, die nunmehr ganz bestimmte Begriffe in sich schliessen, die Worte lebendiges und todtes Eiweiss zu setzen. Abgesehen davon, dass es zum Mindesten befremdend erscheinen muss, Bezeichnungen, die das Resultat langen und auf zahlreiche Versuche gegründeten Nachdenkens sind, einfach durch andere willkührlich verdrängen zu wollen, sind die von Fränkel gewählten Worte kaum als eine Verbesserung zu betrachten. Ueberall, wo uns die Erscheinungen und Thätigkeiten begegnen, welche wir in ihrer Gesammtheit mit „Leben" bezeichnen, in der Protoplasmamasse der Amöben wie in den höchst organisirten Geschöpfen, finden wir dieselben nicht an eine einzige, wenn auch noch so complicirte Substanz, wie etwa an Eiweiss, geknüpft, sondern an organisirte Gebilde, zu deren Bestand nicht bloss Eiweiss, sondern mit der gleichen Nothwendigkeit Wasser, gewisse Aschebestandtheile etc. gehören. Mit demselben Rechte müsste man dann von lebendem und todtem Kalke oder Wasser oder phosphorsaurem Kali u. dgl. sprechen.

2) A. a. O. Virchow's Arch. Bd. 29, S. 261.

Menge von Blut mit etwa 260 Kubikctmr. Serum (oder etwa 20—25 Gr. Eiweiss) injicirt wurde, wäre eine solche Erklärung vielleicht ausreichend, obwohl sich hiebei namentlich die Schwierigkeit darböte, einen Grund für die eigenthümliche Erscheinung aufzufinden, dass die in Lösung in den Körper gebrachten Serumeiweissstoffe nicht alsbald, wie die gefütterten, im Körper zersetzt würden, sondern dass mehrere Tage hindurch eine fast gleichmässig anhaltende, wenn auch nur geringe Steigerung der Harnstoffausscheidung erzielt wurde. Allein dem widersprechen die Resultate der zweiten Injektion. Obwohl hier (s. Tab. II) eine weit grössere Menge von Blut mit mehr Serum (wohl über 400 Kubikcmr. mit 30—40 Gr. Eiweiss) in die Blutgefässe eingeführt wurden, ist die Harnstoffvermehrung hier nur wenig bemerkbar und sogar geringer als im ersten Versuche. Zudem liegt für die etwas höhere Harnstoffzahl am Injectionstage selbst ein Grund in der reichlich vermehrten Wasseraufnahme und Ausscheidung vor. Ich neige mich desshalb der Ansicht zu, dass nicht bloss die organisirten Gebilde des transfundirten Blutes, sondern auch das diesem zugehörende Serum ähnlich dem Plasma des bereits im Körper vorhandenen Blutes, das wie dessen Existenz im Blute völlig verhungerter und desshalb des circulirenden Eiweisses fast völlig beraubter Thiere beweist, zum grossen Theile dem stabilern Organeiweisse zugezählt werden muss, in dem Körper der Versuchsthiere unversehrt erhalten blieb.

Zur Erklärung der um ein Geringes vermehrten Harnstoffausscheidung nach der Injektion aber ergeben sich namentlich zwei Anhaltspunkte. Einmal ist es nicht unwahrscheinlich, dass die durch die Transfusion vermehrte Organmasse der Versuchsthiere im Tage auch etwas mehr Harnstoff liefern wird, da ja die Hungereiweisszersetzung in gewissem Sinne von der Gesammtmasse der Organe abhängig ist. Sodann aber lässt sich eine geringe Steigerung des Eiweisszerfalles bei der Blutinjektion auch erwarten in Folge des hiebei auf ein gewisses Maximum ansteigenden Blutdruckes, das nach Worm Müller's Angaben bei der Ueberfüllung der Gefässe mit Blut erreicht wird, und einer hiedurch bewirkten lebhaftern Circulation des Säftestromes in den Organen des Körpers. Es würde hier die gleiche Ursache als wirksam zu betrachten sein, auf

welcher nach Voit die geringe Vermehrung des Eiweissumsatzes bei Genuss von Kochsalz, Kaffee oder auch von Wasser beruht. Damit liesse sich auch die Erscheinung leicht in Einklang bringen, dass bei dem ersten Versuchshunde, der nur etwa 1 Jahr alt und als junges Thier leicht erregbar war, etwas höhere Harnstoffzahlen nach der Injektion gefunden wurden, als bei dem zweiten Thiere, das mehrere Jahre alt, schon zu zahlreichen andern Versuchen gedient hatte.

In der That wird nun auch nicht bloss durch Injektion von Blut, sondern auch durch Injektion nicht eiweisshaltiger Flüssigkeiten, die auf die Blutkörperchen nicht zersetzend einwirken, in die Blutgefässe eine Vermehrung der Harnstoffausscheidung hervorgerufen. Ich habe unter genau denselben Bedingungen wie früher dem ersterwähnten Hunde in einer Versuchsreihe einmal eine Traubenzucker-, dann eine Kochsalz-Lösung in je eine vena metatarsea eingespritzt. In der folgenden III. Tabelle gebe ich die auf diese Reihe treffende tägliche Ausscheidung durch den Harn.

III. Injektion von Traubenzucker- und Kochsalzlösung, 28. Januar — 6. Februar 1875.

Körpergewicht des Versuchshundes 21.9—18.9 Kilogramm.

| Versuchstag. | Harnmenge in Cub.-Ctmr. | Harnstoff. | Phosphorsäure. | Koth | | Bemerkungen. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | frisch. | trocken. | |
| 1. | 375 | 31.3 | 2.13 | — | — | 40 Gr. Knochen |
| 2. | 216 | 21.8 | 1.46 | — | — | Hunger. |
| 3. | 138 | 10.6 | 1.05 | — | — | " |
| 4. | 132 | 10.1 | 1.11 | — | — | " |
| 5. | 218 | 12.5 | 1.49 | — | — | " |
| 6.[1]) | 644 | 17.9 | 2.39 | 32.2 | 12.5 | " |
| 7. | 127 | 12.0 | 0.94 | — | — | " |
| 8. | 145 | 13.3 | 1.02 | — | — | " |
| 9.[2]) | 353 | 18.6 | 1.63 | — | — | " |
| 10. | 166 | 11.4 | 0.93 | 49.5[3]) | 18.1 | " |

1) Am 6. Tage Injektion von 300 Cubikctmr. einer 25%igen Traubenzuckerlösung in eine ven. metatarsea.

2) Am 9. Tage Injektion von 350 Cubikctmr. einer 1%igen Kochsalzlösung.

3) Durch Knochen sorgfältig abgegrenzt.

Der Harn blieb während der ganzen Versuchsreihe frei von Eiweiss oder Gallefarbstoff. Der Koth ist nach seiner Menge und Zusammensetzung Hungerkoth.

An den beiden Injektionstagen nun stieg, wie man aus der Tabelle erkennt, unter sonst gleichen Bedingungen die Ausscheidung des Harnstoffs sowohl wie der Phosphorsäure durch den Harn. Da hier jedoch die Injektion bei der raschen Ausscheidung — von den injicirten 3.5 Gr. Chlornatrium waren am Injektionstage 3.3 Gr. im Harne gefunden worden — oder Zersetzung[1]) der injicirten Lösung nur eine vorübergehende Erhöhung des Blutdruckes und Beschleunigung des Ernährungsstromes bewirken konnte, so ist erklärlicherweise an dem der Transfusion folgenden Tage beide Male die Harnstoff- und Phosphorsäuremenge auf die Hungergleichgewichtszahl gesunken, während bei der Bluttransfusion das erreichte Maximum des Druckes wohl ebenso, wie die damit in Verbindung zu bringende geringe Steigerung des Eiweisszerfalls der Fortexistenz des injicirten Blutes halber längere Zeit andauerte.

Der sichere Nachweis, dass das in einen Organismus transfundirte gleichartige Blut sich unversehrt in demselben erhalten kann, schliesst sich vervollständigend an die Beobachtungen Panum's[2]) an, welcher das Blut eines Thieres durch das defibrinirte Blut eines andern Thieres derselben Art, ohne bemerkenswerthe Funktionsstörungen oder eine besondere Veränderung der Harnstoffausscheidung hervorzurufen, verdrängen konnte. In welcher Weise derselbe auf die Lehre und Praxis der Transfusion, namentlich auf die Indikation zur Vornahme derselben beim Menschen, wirkt, das zu erörtern liegt mir nicht ob und muss ich dies daher den hierin maassgebenden Kreisen überlassen.

---

1) Ich mache hier auf einen sehr bemerkenswerthen Umstand aufmerksam. Von den am 6. Hungertage in das Gefässsystem des Hundes eingespritzten 75 Gr. Traubenzucker erschienen am Injektionstage selbst nur 11.9 Gr. im Harne und schon der in der 2. Hälfte desselben Tages entleerte Harn enthielt kaum mehr Spuren von Zucker. Sonach sind etwa 63 Gr. Zucker im Körper geblieben und mussten hier, da nach den bekannten Versuchen von Pettenkofer und Voit Kohlehydrate im Körper nicht in grösserer Menge aufgespeichert werden können, hier in kürzester Zeit zerfallen und oxydirt worden sein.

2) Virch. Arch., Bd. 27, S. 240—296 u. 433—460.

## II.

## Die Eiweisszersetzung im Thierkörper bei Transfusion von Eiweisslösungen.

Bekanntlich hat man bis vor Kurzem fast allgemein, zumeist auf theoretische Betrachtungen hin, geglaubt, dass das in den Darm aufgenommene Nahrungseiweiss nicht als solches daselbst resorbirt werden könne, sondern grösstentheils durch die Verdauungssäfte in Peptone umgewandelt und so erst diffundirbar geworden, der Aufsaugung zugänglich gemacht würde. Fick[1]) hat nun versucht die Vermehrung der Harnstoffausscheidung, welche nach Zufuhr von eiweissartigen Substanzen stets auftritt, durch die Annahme zu erklären, dass entgegen der erwähnten Anschauung, die resorbirten Peptone im Körper nicht in Eiweiss zurückverwandelt, sondern rasch weiter zersetzt würden, bis sie endlich hauptsächlich als Harnstoff den Körper verliessen. Die eigentlichen Eiweissstoffe im Körper, musste weiter angenommen werden, könnten nur sehr schwer in Spaltungsprodukte zerfallen, sondern wären sämmtlich innerhalb des Organismus sehr stabiler Natur. Obwohl nun bereits Voit[2]) eine Reihe von Gründen angeführt hat, welche gegen diese Annahme sprechen, so könnte man doch den Auseinandersetzungen Fick's folgend auf die Vermuthung gerathen, dass bei den oben beschriebenen Bluttransfusionsversuchen eine Harnstoffvermehrung, also eine Zersetzung der injicirten Eiweissstoffe desshalb nicht eingetreten sei, weil überhaupt Eiweisssubstanzen, wenn in den Körper als solche eingeführt, in diesem nicht oder nur in äusserst geringer Menge zerfallen können, sondern nur solche die vorher im Darme gespalten oder peptonisirt worden wären.

Wäre diess richtig, so könnten natürlich meine Versuche nicht als Beweis für die Stabilität des Organeiweisses gelten. Es erschien mir daher nothwendig zu prüfen, ob die nicht organisirten, einfach in Lösung enthaltenen Eiweissstoffe, welche nicht vorher durch Verdauungssäfte irgend eine Veränderung erlitten hätten, — in den Körper eingebracht — hier die Bedingungen ihres Zerfalls finden können oder nicht.

1) Pflüg. Arch. f. d. ges. Physiol., Bd. 5, S. 40—48.

2) Zeitschr. f. Biol., Bd. 8, S. 354 u. ff.

Als solche zur Transfusion passende Eiweisslösung erschien mir Blutserum, dessen Injektion in die Blutbahn von Hunden bekanntlich keine Störungen hervorruft und insbesondere, wie namentlich Landois[1]) gezeigt hat, keinen zersetzenden Einfluss auf die organisirten Gebilde des Blutes übt.

Ich wählte Pferdeblutserum, das ich mir durch die freundliche Vermittlung des Herrn Dr. Frank, Professors an der hiesigen Centralthierarzneischule, verschaffen konnte. Das einen Tag alte, zorgfältig in der Kälte aufbewahrte frische Pferdeblutserum wurde unter den gleichen, oben erörterten Bedingungen, wie früher in eine Vene (v. jugul. oder metatars.) der Versuchsthiere eingespritzt, oder ich lies es aus einer grösseren Bürette unter annähernd gleichem Drucke möglichst vorsichtig in die Vene einfliessen. Harn und Koth wurden in der gleichen Weise wie in den vorstehenden Versuchen aufgefangen und behandelt.

Die von mir bei solchen Serumtransfusionsversuchen erhaltenen Resultate habe ich in den folgenden Tabellen zusammengestellt:

IV. 1. Seruminjektion, 6.—16. Januar 1875.

Körpergewicht des Hundes: 21.0 Kilogramm.

| Versuchstag | Harnmenge in Cub.-Ctmr. | Harnstoff. | Koth frisch. | Koth trocken. | Bemerkungen. |
|---|---|---|---|---|---|
| 1. | 264 | 20.9 | — | — | 40 Gr. Knochen verzehrt. |
| 2. | 122 | 7.3 | — | — | Hunger |
| 3. | 198 | 12.8 | — | — | " |
| 4. | 178 | 9.8 | 25.9 | 11.0 | " |
| 5. | 156 | 10.3 | — | — | " |
| 6. | 430 | 17.6 | 82.4 | 17.5 | 430 Cubikctmr. Serum injic. |
| 7. | 195 | 17.6 | — | — | Hunger |
| 8. | 158 | 14.1 | — | — | " |
| 9. | 170 | 13.8 | — | — | " |
| 10. | 196 | 19.6 | — | — | 200 Gr. Fleisch. |
| 11. | 111 | 10.6 | 53.9 | 17.1 | Hunger. |

Bei dem erst zum zweiten Male zu Versuchen verwendeten Hunde war am 2. und 3. Tage die Harnentleerung nicht regelmässig erfolgt, was bei frisch dressirten Hunden leicht zu Anfang einer Versuchsreihe geschieht; dies lässt sich leicht

1) Med. Centralbl. 1873, S. 599.

aus den Schwankungen der Harnstoffzahlen der beiden Tage, deren Mittel etwa die Hungerzahl darstellt, erkennen. Ich habe nun desshalb die Injektion des Serums erst am 6. Tage, als die Harnstoffmenge der Hungertage annähernd 10 Gr. betrug, vorgenommen. Injicirt wurden jetzt 430 Cubikctmr. Pferdeblutserum, welche — bei einem Prozentgehalte von 1.60 Stickstoff — 6.88 Gr. Stickstoff enthielten.

Am Tage der Injektion wurde des Mittags, bald nach vollendeter Operation, vom Versuchshunde eine geringe Menge einer zähen Flüssigkeit erbrochen, die trocken 3.98 Gr. wog und 0.38 Gr. Stickstoff enthielt. Sonst konnte an dem Thiere keine abnorme Erscheinung beobachtet werden.

Der Harn blieb nach der Seruminjektion stets frei von Eiweiss oder Gallefarbstoff. Der während der Reihe entleerte Koth entspricht nach seinem Stickstoffgehalte, welcher 5.3, 5.9 und 6.1% der Trockensubstanz beträgt, dem Hungerkothe.

V. 2. Seruminjektion, 4.—14. März 1875.

Körpergewicht des Versuchshundes: 38.2—34.4 Kilogramm.

a. Harn.

| Versuchstag. | Harnmenge in Cub.-Ctmr. | Harnstoff. | Bemerkungen. |
|---|---|---|---|
| 1. | 580 | 40.0 | 500 Gr. Fleisch, 100 Speck. |
| 2. | 876 | 44.7 | „ „ „ „ „ |
| 3. | 838 | 34.2 | „ „ „ „ „ |
| 4. | 709 | 31.5 | 40 Gr. Knochen. |
| 5. | 405 | 18.1 | Hunger. |
| 6. | 400 | 18.1 | „ |
| 7. | 942 | 22.7 | 662 Gr. Serum injicirt. |
| 8. | 471 | 37.9 | Hunger. |
| 9. | 415 | 31.0 | „ |
| 10. | 437 | 39.9 | 40 Gr. Knochen, sodann 600 Gr. Fleisch u. 100 Gr. Speck. |
| 11. | 516 | 49.7 | 600 Gr. Fleisch u. 100 Gr. Speck. |

b. Koth.

| Versuchs-tag. | frisch. | trocken. | Stickstoff. | % Stickstoff in der Trocken-substanz. |
|---|---|---|---|---|
| 4. | 39.8 | 12.4 | 0.73 | 5.9 |
| 7. | 41.8 | 14.2 | 0.91 | 6.4 |
| 8. | 99.3 | 21.5 | 2.33 | 10.8 |
| 9. | 232.5 | 30.5 | 2.44 | 7.9 |
| 10. | 122.0 | 14.2 | 0.91 | 6.4 |

Diese Versuchsreihe hatte sich einer etwa 20tägigen Hungerreihe unmittelbar angeschlossen, die ich später noch zu besprechen habe. Als daher nach einer 3tägigen Fütterung mit Fleisch und Speck das sehr abgemagerte Thier hungerte, war bereits nach 24 Stunden die aus dem vorangehenden Hungerzustande bekannte Hungerausscheidung von etwa 18 Gr. Harnstoff erreicht. Am 7. Versuchstage oder 4. Hungertage erfolgte nun eine Transfusion von 662 Gr. Pferdeblutserum[1]) in die ven. metatars., welche 6.38 Gr. Stickstoff (entsprech. 13.7 Gr. Harnstoff) enthielten.

In der der Transfusion folgenden Nacht wurden 155.7 Gr. einer schleimigen Masse erbrochen, welche 18.4 Gr. Trockensubstanz mit 0.804 Gr. Stickstoff enthielt. Ausser einer gewissen Mattigkeit und der sehr starken Abmagerung konnte jedoch sonst keine besondere Störung in dem Verhalten des Versuchsthieres bemerkt werden. An den der Injektion folgenden Hungertagen aber nahm nun Mattigkeit und Abmagerung des Thieres bedeutend zu und es gesellten sich jetzt dazu reichliche diarrhoische Kothentleerungen (s. Tab. V, b.), ganz so wie sie fast stets in den spätern Hungertagen aufzutreten pflegen. Dies sowie ein noch zu besprechender Umstand, nämlich das Verhalten der Harnstoffausscheidung bestimmte mich, nunmehr die Hungerreihe durch eine Fütterung mit Fleisch und Speck zu unterbrechen, bei welch' letzterer der Hund nach einigen Tagen allmählig sich wieder erholte.

Für die Betrachtung der beiden Versuche erscheinen nun besonders wesentlich die Auscheidungen durch den Harn. Im ersten

1) 100 Gr. frisches Serum = 7.97 Gr. trocken.
0.964 Gr. Stickstoff.

Versuche (s. Tab. IV, S. 518) beträgt die Hungerauscheidung etwa 10 Gr. Harnstoff im Tage. Als nun am 6. Tage etwa 45 Gr. Eiweiss (entsprechend 14.7 Gr. Harnstoff) in Lösung injicirt wurden, erhob sich die Harnstoffzahl auf 17.6 Gr., welche Höhe auch noch den folgenden Tag behauptet wurde. In den nächstfolgenden Hungertagen sank die tägliche Harnstoffmenge rasch wieder der Hungerausscheidungsgrösse entgegen. Als sodann am 10. Tage eine der injicirten Eiweissquantität entsprechende Fleischmenge gefüttert wurde, stieg auch hier die Harnstoffzahl im Verhältnisse zu der zugeführten Menge und sank an dem der Fütterung folgenden Hungertage bereits wieder auf die während des s. g. Hungergleichgewichtes behauptete Grösse.

Während also bei der Transfusion von Blut die Einführung sehr erheblicher Eiweissmassen in die Blutbahn nur eine unverhältmässig geringe Erhebung der täglichen Harnstoffausscheidung (um etwa 2—3 Gr.) bewirkt hatte, erhöhte sich hier, bei der Injektion des gelösten Eiweisses in relativ kleiner Menge, an dem Tage der Injektion und Tags darauf die während des Hungers erreichte minimale Harnstoffzahl um eine solche Menge, dass das Plus der beiden Tage — gegenüber dem Hunger — eben der injicirten Eiweissmenge entsprach, gerade so, wie dies bei der Fütterung von Eiweiss geschah. Sonach verhält sich das Eiweiss des transfundirten Serums in Bezug auf seine Fähigkeit, im Körper zu zerfallen, nicht so wie die Organeiweissstoffe des Blutes, sondern wie die durch den Verdauungsapparat aufgenommenen Eiweissstoffe des gefütterten Fleisches.

Ein ähnliches Resultat gibt der zweite Versuch. Hiebei (s. Tab. V, S. 519) geht allerdings am 7. Tage, als 662 Gr. wasserreichen Serums mit etwa 40 Gr. Eiweissstoffen injicirt wurden, die Harnstoffausscheidung nur um etwa 5 Gr. in die Höhe, erreicht aber am folgenden Tage die Zahl 38, um sodann bei fortdauerndem Hunger wieder herabzusinken. Also auch hier wird durch die Injektion der Eiweisslösung im Gegensatze zur Bluttransfusion eine Vermehrung des Eiweisszerfalls im Körper hervorgerufen.

Dass in letzterem Versuche eine verhältnissmässig erhebliche Steigerung der Harnstoffausscheidung erfolgte, welche auch am

3. Tage nach der Injektion in geringerem Maasse noch anhielt, erklärt sich aus einem bekannten Verhalten der Eiweisszersetzung während eines lange andauernden Hungerzustandes.

Der Eiweissumsatz beim Hunger erreicht nämlich, wie wir auch in den obigen Versuchen sehen, in wenigen Tagen einen niedrigen Werth, den er lange anhält; nach längerem Hunger aber, wenn das hungernde Thier allmählig verfällt und dem Tode nahe kommt, geht derselbe in eine rasche Steigerung über[1]). Voit erklärte diese Steigerung des Eiweisszerfalls in sehr späten Hungertagen durch den völligen Verbrauch von Körperfett, dessen Anwesenheit im Körper in den frühern Tagen das Eiweiss vor der raschen Zersetzung schützte. Fr. Hofmann[2]) hat bekanntlich dieses Ansteigen der Harnstoffzahlen in den spätern Hungertagen benützt, um den Zeitpunkt genau zu fixiren, an welchem sämmtliches Körperfett in einem hungernden Thiere völlig aufgezehrt ist. Ohne dass ich es beabsichtigt hatte, war nun bei meinem Versuchshunde nach dem langen Hunger jener Zustand eingetreten, in dem der Eiweisszerfall bis zum endlichen Tode rasch ansteigt, ein Zustand, der sich ausserdem auch noch durch die reichlichen diarrhoischen Kothentleerungen und durch äusserste Abmagerung und grossen Verfall des Thieres dokumentirte. Während jedoch in diesem Endstadium des Hungerzustandes die Harnstoffausscheidung von Tag zu Tag ziemlich regelmässig ansteigt[3]), ist in meinem Falle unter dem

---

1) Voit, über die Verschiedenheit der Eiweisszersetzung beim Hungern, Zeitschr. f. Biol., Bd. 2, S. 327 u. ff.

2) Zeitschr. f. Biol. Bd. 8, S. 165.

3) Gähtgens (Zur Kenntniss der Arsenwirkungen, Mediz. Centralbl. 1875, Nr. 32) hat ein solches Ansteigen der Harnstoffausscheidung nach längerem Hunger ebenfalls beobachtet, betrachtet dasselbe aber als eine Folge des Arsengenusses. Meines Erachtens sind die von G. erhaltenen Zahlenresultate für letzteren Schluss nicht beweisend, da der Nachweis fehlt, dass die Steigerung des Eiweissumsatzes nicht eine Folge des andauernden Hungerzustandes ist. Ich erinnere daran, dass bereits v. Böck (Ztschr. f. Biol., Bd. 7, S. 431) der die Eiweisszersetzung im Körper bei Darreichung medizinaler Dosen von Arsen prüfte, auf jene gerade bei solchen Versuchen schliesslich eintretende Vermehrung der täglichen Harnstoffausscheidung, die aber nicht in Zusammenhang mit der Arsengabe gebracht werden dürfe, aufmerksam machte.

Einflusse der Serumtransfusion die Harnstoffzahl des der Injektion folgenden Tages erheblich grösser als am 3. Tage nach der Injektion. Die Vermehrung der Harnstoffausscheidung nach der Serumtransfusion in diesem Versuche ist sonach zum Theile auf ein langsames Ansteigen der Hungereiweisszersetzung, zum grossen Theile aber, namentlich an dem der Transfusion folgenden Tage, auf die Zersetzung der injicirten Eiweisslösung zu beziehen.

Bemerkenswerth bei beiden Versuchen ist, dass die Zersetzung der injicirten Serumeiweissstoffe im Körper erst im Verlaufe von zwei Tagen vor sich geht. Man könnte nun daran denken, dass durch die Transfusion des Pferdeblutserums eine Veränderung der Nieren, wie sie Ponfick[1]) nach der Transfusion von ungleichartigem Blute beobachtete, und dadurch eine Störung in der Sekretion des gebildeten Harns bewirkt worden wäre. Dem widerspricht jedoch die ziemlich beträchtliche Harnmenge, die an den Injektionstagen jedes Mal entleert wurde. Es muss daher diese Erscheinung wohl dahin erklärt werden, dass bei dem Eiweissüberschusse, welcher durch die Transfusion des Serums plötzlich geliefert wird, im Anfange in den hungernden Zellen des Körpers ein Ansatz von Eiweiss bewirkt wurde, welchen dieselben nicht sofort zu bewältigen vermochten, ähnlich dem Ansatze, der bei Darreichung von sehr grossen Fleischmengen ohne Fett, wenn auch in geringerem Maasse, da eben durch die Fütterung den Zellen hiebei auf einmal viel weniger Eiweiss zugeführt wird als durch die Injektion der Eiweisslösung in die Blutbahn, ebenfalls regelmässig beobachtet werden kann.

Um dies durch den Versuch darzuthun und zugleich in der Absicht, noch grössere Mengen von Serumeiweiss, das ja nur in relativ verdünnter Lösung mir zu Gebote stand, zur Transfusion zu verwenden, habe ich an einem dritten jungen und magern Hunde unter denselben Bedingungen, wie vorher, den gleichen Versuch wiederholt. An die Hungerreihe, in welcher die Transfusion von Pferdeblutserum in die ven. jugul. ausgeführt wurde, schloss ich eine Fütterung möglichst grosser Fleischmengen zu Anfang eines

1) A. a. O., S. 332.

Versuchstages an, welcher sodann nach Darreichung von Knochen ein paar Hungertage folgten. Die Ergebnisse dieser Reihe sind folgende:

VI. 3. Seruminjektion, 10.—22. Aug. 1875.

Körpergewicht des Versuchshundes: 19.9—18.5 Kilogramm.

| Versuchstag. | Harnmenge in Cubikctr. | Harnstoff. | Koth | | Bemerkungen. |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | frisch. | trocken. | |
| 1. | 490 | 41.4 | — | — | 600 Gr. Fleisch verzehrt |
| 2. | 141 | 11.4 | 84.2 | 24.6 | Hunger. |
| 3. | 125 | 11.0 | — | — | „ |
| 4. | 118 | 11.3 | — | — | „ |
| 5. | 99 | 9.7 | — | — | „ |
| 6. | 891 | 21.2 | 106.4 | 37.6 | 950 Cubikctr. Serum injicirt. |
| 7. | 375 | 23.4 | — | — | Hunger. |
| 8. | 288 | 15.9 | — | — | „ |
| 9. | 153 | 12.3 | — | — | „ |
| 10. | 454 | 42.2 | 112.0 | — | 500 Gr. Fleisch. |
| 11. | 908 | 76.3 | — | — | 1660 Gr. Fleisch. |
| 12. | 573 | 53.4 | Knochenkoth | | 150 Gr. Knochen. |
| 13. | 148 | 13.9 | — | — | Hunger. |

Das injicirte Serum[1]) (950 Cubikctr. = 978.3 Gr.) enthielt 15.08 Gr. Stickstoff, was einer Harnstoffmenge von 32.3 Gr. entspricht.

Der entleerte Harn war wie in den vorhergehenden Versuchen frei von Eiweiss oder sonstigen abnormen Bestandtheilen; die Kothentleerung verhält sich wie beim Hunger und bei Fleischfütterung überhaupt. Erbrechen oder sonstige üble Erscheinungen traten nicht auf.

Ganz deutlich nun tritt in diesem Versuche die im Verlaufe von wenigen Tagen erfolgende Zersetzung der transfundirten Eiweisslösung hervor. Doch es geschieht Aehnliches auch bei der Fütterung von Eiweissstoffen. Als ich nämlich am 10. Tage 500 Gr. Fleisch fütterte, stieg die Harnstoffzahl auf 42 Gr., d. h. es wurde sämmtliches in der Nahrung aufgenommene Eiweiss im Körper zerstört. Als ich aber am nächstfolgenden Tage dem Hunde

1) 100 Gr. Serum = 88.65 Gr. Wasser.
11.35 Gr. feste Theile.
1.54 Gr. Stickstoff.

1660 Gr. feingewiegten Fleisches[1]) darreichte, welche ich innerhalb einer Stunde verzehren liess, stieg die Harnstoffmenge an diesem Tage nur auf 76 Gr., hielt sich am nächstfolgenden auf 53 Gr. und war am 3. Hungertage noch nicht völlig auf die Hungerzahl gesunken. Es ist somit die aufgenommene Fleischmasse, die einer Menge von 121 Gr. Harnstoff entspricht, bei der reichlichen Darreichung nicht sofort an einem Tage, sondern allmählig im Körper zersetzt worden. Dass das nicht davon herrührt, dass das verzehrte Fleisch etwa theilweise erst am 2. und 3. Tage im Darme resorbirt wurde, sondern dass dasselbe in der That alsbald vollständig verdaut war, wird dadurch bewiesen, dass als ich am Anfange des 12. Tages dem Hunde 150 Gr. sorgfältig gereinigter Knochen gab, diese noch im Verlaufe desselben Tages nur mit Spuren von schwärzlichem Fleischkothe entleert wurden, was nur bei einem vollkommen leeren Darme möglich ist.

So interessant die Erscheinung dieser nur allmählig erfolgenden Zersetzung von Eiweiss bei überschüssiger Zufuhr derselben ist und zu so viel Vermuthungen über deren Ursache sie anregen könnte, so enthalte ich mich an dieser Stelle weiterer Aeusserungen hierüber und begnüge mich damit gezeigt zu haben, dass die durch Injektion in das Blutgefässsystem dem Thierkörper einverleibten Eiweisslösungen in Bezug auf die Zersetzung im Organismus sich gleich verhalten den gefütterten Eiweissstoffen, wesentlich verschieden aber von den Eiweissstoffen eines in den Körper eingefügten lebenden Organes.

Es läge nun noch die Möglichkeit vor, anzunehmen, dass wohl Pferdeblutserum als eine dem Hundeorganismus fremdartige Eiweisslösung in diesem zerfallen könne, wie etwa Landois oder Ponfick in der bereits erwähnten Abhandlung den Zerfall der einem Thiere fremdartigen Blutkörperchen einer andern Thierart in jenem constatirten, nicht aber das von einem gleichartigen Organismus

1) Es empfiehlt sich, in solchen Fällen das zur Nahrung bestimmte Fleisch fein zu wiegen, da es so nach einer Reihe von Erfahrungen, die ich hierüber zu machen Gelegenheit hatte, viel leichter und rascher resorbirt wird; grössere Fleischstücke geben nach längerem Hunger leicht unverdaut, von einer Schleimhülle umzogen, mit dem Kothe ab.

erhaltene Blutserum. Um diese Annahme zu prüfen, habe ich noch einen dem voranstehenden gleichen Versuch angestellt, in welchem statt des Pferdeblutserums, Blutserum vom Hunde, also von der gleichen Art, meinem Versuchsthiere in die Blutbahn transfundirt wurde.

In einem solchen Versuche wurden am 4. Hungertage 522 Gr. möglichst frischen Hundeblutserums, welche 30 Gr. Eiweiss enthielten, in die ven. metatars. des einen bereits erwähnten Versuchshundes eingespritzt. Während nun die Harnstoffmenge an dem der Injektion folgenden Tage 13 Gr. betrug, war dieselbe am Injektionstage auf 19.4 Gr. gestiegen. Als ich dann am 9. Hungertage 150 Gr. Fleisch, welche eine der Serummenge entsprechende Eiweissquantität, nämlich 32 Gr., enthielten, fütterte, erreichte an diesem Tage die Harnstoffausscheidung fast genau dieselbe Grösse, 20.1 Gr., und sank am folgenden Hungertage wiederum auf 15 Gr. herab.

Der Harn blieb auch diesmal frei von Eiweiss, der Koth in Menge und Stickstoffgehalt gleich dem Hungerkothe.

Demnach wird auch das Eiweiss des gleichartigen Blutserums im Organismus des Versuchsthieres in derselben Weise und Quantität in die Bedingungen des Zerfalls gezogen, wie dies mit den durch die Verdauungsapparate aufgenommenen Eiweissstoffen des gefütterten Fleisches geschieht.

Wird flüssiges Hühnereiweiss in die Blutgefässe oder selbst subcutan injicirt, so tritt bekanntlich fast immer Albuminurie auf. Die hierüber gemachten Beobachtungen von Cl. Bernard[1]) und J. Ch. Lehmann[2]), sowie von Stokvis[3]) sind von Creite[4]) späterhin bestätiget worden. Stokvis nimmt nun, sich auch auf Angaben von M. Schiff stützend, an, dass das injicirte Hühnereiweiss eine für den Körper durchaus unbrauchbare Substanz darstelle, welche — als solches in den Thierkörper eingeführt — unverändert durch denselben hindurchgehe und vorzüglich im Harne

1) Leçons s. l. propriétés physiol. et les altérat. pathol. des liquid. de l'organisme, t. II. p. 45?—462.

2) Virchow's Arch., Bd. 30, S. 593 u. ff.

3) Medizin. Centralbl. 1864, S. 597.

4) Zeitschr. f. ration. Mediz., Bd. 36, S. 92 und 93.

ausgeschieden werde. Lehmann dagegen glaubt, dass die durch Injektion von Hühnereiweiss ins Blut hervorgerufene Albuminurie sich nicht von pathologischen Albuminurien unterscheide, und dass das im Harne hiebei ausgeschiedene Eiweiss nicht stets das eingespritzte sei.

Da sonach die Eiweissausscheidung nach Hühnereiweissinjektion in gleicher Weise, wie das etwa bei der Injektion von manchen ungleichartigen Blut- oder Blutserumarten der Fall ist, von krankhaften Veränderungen der Nierensubstanz herstammen und als eine vielleicht mehr oder weniger zufällige Folge der Injektion betrachtet werden konnte, so war zu vermuthen, dass nicht bloss die Serumeiweissstoffe, sondern auch das gelöste Hühnereiweiss, in das Blutgefässsystem direkt eingeführt, im Körper die Bedingungen seines Zerfalles finde. Ich habe zur Prüfung dieser Vermuthung unter denselben Bedingungen wie früher dem bereits erwähnten Versuchshunde (vergl. 2. Seruminjektion, S. 519) flüssiges Hühnereiweiss in die ven. jugul. injicirt und dabei die Ausscheidungen durch Harn und Koth genau bestimmt. Es ergeben sich hiebei folgende Zahlen:

VII. Injektion von Hühnereiweiss, 10. Febr. — 2. März 1875.

Körpergewicht des Versuchshundes: 47.5 — 38.2 Kilogramm.

| Versuchstag. | Harnmenge in Cubikctr. | Harnstoff. | Koth frisch. | Koth trocken. | Bemerkungen. |
|---|---|---|---|---|---|
| 1. | 725 | 38.9 | — | — | 40 Gr. Knochen verzehrt. |
| 2. | 549 | 29.6 | — | — | Hunger. |
| 3. | 535 | 29.1 | — | — | „ |
| 4. | 470 | 27.4 | — | — | „ |
| 5. | 480 | 28.5 | — | — | „ |
| 6. | 384 | 23.3 | 100.2 | 29.9 | „ |
| 7. | 442 | 25.0 | — | — | „ |
| 8. | 490 | 21.9 | — | — | „ |
| 9. | 479 | 20.7 | — | — | „ |
| 10. | 519 | 25.4 | — | — | „ |
| 11. | 412 | 23.2 | — | — | „ |
| 12. | 586 | 41.4 | — | — | 800 Gr. Fleisch verzehrt. |
| 13. | 785 | 65.0 | 212.2 | 59.3 | 800 Gr. Fleisch verzehrt. |
| 14. | 489 | 37.7 | — | — | 40 Gr. Knochen. |
| 15. | 529 | 24.4 | — | — | Hunger. |
| 16. | 584 | 18.8 | — | — | „ |
| 17. | 494 | 20.1 | 118.4 | 39.7 | „ |
| 18. | 429 | 18.5 | — | — | „ |
| 19. | 1125 | 33.0 | — | — | 639.3 Gr. Hühnereiweiss inj. |
| 20. | 1452 | 26.5 | — | — | Hunger. |
| 21. | 908 | 18.3 | — | — | „ |

Ich habe die ganze Hungerreihe angeführt, um ein Verhalten der Eiweisszersetzung, wie es sich beim Hunger zeigen kann, ins Gedächtniss zurückzurufen. Der von mir verwendete grosse und schon ziemlich alte Hund, welcher im hiesigen physiologischen Institute schon zu mehreren Hungerreihen gedient und im Hungergleichgewichte hiebei etwa 17—18 Gr. Harnstoff im Tage ausgeschieden hatte, war durch eine viele Monate anhaltende überreichliche Fütterung mit gemischtem Fressen ausserordentlich wohlgenährt und namentlich sehr fettreich geworden. Wie das nun bei solchem Körperzustande zu erwarten war, hatte die Harnstoffausscheidung selbst am 11. Hungertage, an dem sich das Thier übrigens vollkommen kräftig und wohl verhielt, noch nicht das Hungerminimum erreicht. Ich gab daher dem Thiere am 12. und 13. Tage so viel Fleisch, dass durch dasselbe wohl annähernd ein Fleischverlust vom Körper, dagegen nicht die Fettabgabe verhütet wird. Dies durfte ich bei dem grossen Hunde — nach den reichlichen aus den Münchener Ernährungsversuchen geschöpften Erfahrungen — etwa bei einer Fütterung mit 800 Gr. Fleisch (wie immer möglichst fettfrei) erwarten. In der That wurde durch die Zufuhr einer solchen Fleischmenge die Stickstoffabgabe vom Körper, wie die Harnstoffzahlen des 12.—14. Tages zeigen, annähernd aufgehoben; dagegen sank das Körpergewicht vom 11. Tage, an welchem es 43.0 Kilogramm betrug, bis zum Ende des 13. Tages auf 42.0 Kilogramm. Diese Gewichtsabnahme in Verbindung mit der relativ geringen Steigerung der Harnmenge unter dem Einflusse der Fleischfütterung lässt sich auf einen Fettverlust vom Körper beziehen. Als nun das Thier wieder hungern musste, sank die Harnstoffausscheidung rascher als vorher und erreichte bereits nach 3 Hungertagen, am 16. Versuchstage, das erwartete Hungerminimum von 18 Gr. im Tage, welches nunmehr bei fortdauerndem Hunger nahezu erhalten blieb.

Am 19. Versuchstage injicirte ich jezt 639.3 Gr. flüssiges Hühnereiweiss, das aus zu Schnee geschlagenem Eierweisse in klarer flockenfreier Lösung erhalten wurde, in die Vene. Die transfundirte Hühnereiweisslösung[1]) enthielt 11.46 Gr. Stickstoff

1) 100 Gr. frisch = 12.41 Gr. trocken.
1.79 Gr. Stickstoff.

(entsprechend 73.3 Gramm Eiweiss, bei 15.5 % Stickstoff in letzterem).

Der Harn wurde nach der Injektion stark eiweisshaltig und blieb so bis zum 21. Versuchstage; von da an konnte kein Eiweiss mehr in demselben nachgewiesen werden. Innerhalb jener Zeit wurden im Ganzen 53.3 Gr. Eiweiss durch den Harn ausgeschieden. Dass der durch Salpetersäure im Harne erzeugte Niederschlag in concentrirter Salpetersäure sich sehr schwierig löste, spricht dafür, dass das ausgeschiedene Eiweiss unverändertes Hühnereiweiss war.

Das Befinden des Versuchsthieres war vollkommen normal.

Am Injektionstage nun stieg die Menge des ausgeschiedenen Harnstoffes auf 33 Gr. und sank zwei Tage nachher wieder auf das Hungerminimum zurück. Die ziemlich beträchtliche Erhebung der täglichen Harnstoffzahl durch die Injektion, die auch noch am 2. Tage nach der Injektion wahrzunehmen ist, lässt sich nicht durch die Annahme der Wirkung eines erhöhten Druckes innerhalb des Blutgefässsystems allein erklären, sondern man muss wohl mit Bestimmtheit schliessen, dass der nicht im Harne entfernte Antheil des injicirten Hühnereiweisses im Körper die Bedingungen seines Zerfalles fand. Jedenfalls ist sicher, dass die Harnstoffauscheidung in dem letzten Versuche sich völlig anders verhält als nach der Transfusion des im Blute enthaltenen Organeiweisses in den ersten Versuchen. Während letzteres im Körper bestehen bleibt, kann eine Lösung des dem Hundeorganismus ganz fremdartigen Hühnereiweisses in ihm unter denselben Bedingungen zerfallen, wie das injicirte Blutserum oder die durch den Verdauungsapparat aufgenommenen Eiweissstoffe.

Dass der Zerfall des injicirten Hühnereiweisses nicht vollständig geschieht, sondern dass ein grosser Theil desselben mit dem Harne den Körper verlässt, zur Erklärung dessen bedarf es noch weiterer Versuche. Nach der eigenthümlichen Art der Ausscheidung des Eiweisses durch den Harn in meinem Versuche muss ich annehmen, dass das in das Blut injicirte Eiweiss nur schwierig und allmählig aus dem Blute in die zu ernährenden Zellen eintreten kann, sondern in den Gefässen bleibt. Nach der in diesen vorhan-

denen Menge richtet sich die Filtration eines Theils des Hühnereiweisses durch die Nieren, welche nach allen bisherigen Beobachtungen im Gegensatze zum Serumeiweisse möglich ist, etwa in der Weise, welche ich schon früher für die von mir s. g. freien Salze im Thierkörper dargestellt habe[1]), zu gleicher Zeit aber auch die Menge des Antheiles, welcher in die Zellen und Organe gelangt und hier die Bedingungen der Zersetzung findet. Der erstere Theil ist jedoch, wie es scheint, der grössere.

Die Auscheidungen durch den Harn am Injektionstage verhalten sich nämlich folgendermassen:

| 19. Versuchstag | Harnmenge. | Harnstoff. | Eiweiss. |
|---|---|---|---|
| von 7—11$^1/_2$ Uhr Vormittags. | 134 | 5.5 | — |
| „ 11$^1/_2$—6 „ Abends | 485 | 11.5 | 39.7 |
| „ 6 —7 „ Morgens | 506 | 15.9 | 5.7 |
| 20. Versuchstag | 1452 | 26.5 | 6.2 |
| 21. „ | 908 | 18.3 | 1.6 |

Zu erwähnen habe ich, dass die Injektion nach 11 Uhr geschah. Während nun hienach die Harnstoffmenge allmählig zunimmt, findet die Ausscheidung des injicirten Eiweisses geradeso statt, wie die Auscheidung der freien Salze, nämlich der Concentration im Körper entsprechend im Anfange rasch und in grösserer Menge, späterhin jedoch immer mehr und mehr sich verringernd.

## Schluss.

Ich kehre nunmehr zum Ausgangspunkte der vorstehenden Versuche zurück. Ich hatte mir die Aufgabe gestellt, einen Beweis dafür zu liefern, dass im Thierkörper das die Organe bildende Eiweiss, Voit's Organeiweiss, relativ stabiler Natur wäre, während in ihm hauptsächlich die den Organen beständig zuströmende Eiweiss- oder Ernährungslösung die Bedingungen ihres Zerfalls fände. Die experimentelle Beweisführung erforderte neben der genauen Prüfung des Eiweissumsatzes in einem Organismus einmal die Ein-

1) Zeitschr. f. Biol., Bd. 9, S. 320.

verleibung eines lebenden Organes in den Körper, sodann aber um gewisse Bedenken zu erledigen, die Einführung von Eiweisslösungen in die Blutbahn, welche nicht den Verdauungsapparat passirt hatten. Das eine Erforderniss wurde durch die Transfusion von Blut, das andere durch die Injektion von Blutserum und Hühnereiweisslösung in das normal gefüllte Blutgefässystem eines in einen bestimmten Ernährungszutand gesetzten Thieres erfüllt.

Die Controle der Eiweisszersetzung in den verschiedenen Transfusionsversuchen liess nun neben einer Anzahl gelegenheitlicher Erfahrungen einige bemerkenswerthe Thatsachen festsetzen, welche ich als Endresultate meiner Versuche folgendermaassen zusammenfasse:

1) das in das Blutgefässsystem eines Thieres eingeführte Blut eines andern Thieres der gleichen Art, wird in jenem nicht alsbald zersetzt, sondern bleibt längere Zeit in demselben bestehen und verhält sich sonach gleich dem bereits vorhandenen Blute. Offenbar ist die Feststellung dieser Thatsache von grosser Bedeutung für die Lehre und Praxis der Transfusion.

2) Direkt in das Blut und damit in den Säftestrom eingeführte Eiweisslösungen, welche nicht vorher dem Verdauungsakte unterlegen sind, zerfallen im Thierkörper in der gleichen Weise und durch die gleichen Bedingungen, wie die Eiweisssubstanzen, welche durch Magen und Darm in den Körper aufgenommen werden.

3) Da das in den Körper in Form eines lebenden Organes eingeführte Eiweiss im Körper nicht in die dort herrschenden Bedingungen des Zerfalls geräth, während Eiweisslösungen, gleichviel ob durch den Darm oder direkt durch Injektion in die Blutgefässe eingeführt, in kürzester Zeit grösstentheils zerfallen, so verhält sich in der That das im Körper vorhandene Eiweiss in Bezug auf die Fähigkeit des Zerfalls nicht gleichmässig, sondern man muss hier zwischen dem an den Organen und Zellen fester gebundenen Eiweisse, das nur wenig zersetzt wird, und dem die letztern ernährenden Eiweissstrome, der zum grössten Theile stets zerfällt und beständig durch die Nahrung wieder ergänzt werden muss, unterscheiden.

---

# Beschreibung eines Apparates zur Untersuchung der gasförmigen Ausscheidungen des Thierkörpers

von

**Carl Voit.**

(Mit Tafel XIII, XIV, XV.)

Vor nunmehr fünfzehn Jahren hatten die von Bischoff und mir gewonnenen Resultate über den Eiweissverbrauch des fleischfressenden Thieres zu dem Baue des grossen Respirationsapparates im physiologischen Institute durch Pettenkofer geführt.

Es hatte sich bekanntlich durch mühsame Untersuchungen ergeben, dass man im Stande ist, die Grösse des Umsatzes der stickstoffhaltigen Stoffe, vor Allem des Eiweisses im Thierkörper aus dem im Harn und Koth ausgeschiedenen Stickstoff, so weit genau als es für Fragen der Art zu wissen nöthig ist, zu entnehmen[1]). Aber über den Verbrauch der stickstofffreien Stoffe wie der Fette oder Kohlehydrate konnte nichts aus diesen Untersuchungen des Harns und Koths entnommen werden, es mussten zu dem Zwecke alle Ausscheidungsprodukte des Körpers, also auch die gasförmigen, in den Kreis der Untersuchung gezogen werden.

Jedoch war aus den annähernden Berechnungen von Bischoff und mir schon so viel zu ersehen, dass in der Zersetzung der stickstoffreien Stoffe und in der Aufnahme des Sauerstoffs dieselben mächtigen Verschiedenheiten vorkommen, wie in der Zersetzung der stickstoffhaltigen Stoffe, und dass die Erkenntnisse des gesammten Stoff-

1) Voit, physiologisch-chemische Untersuchungen 1857 S. 1. — Annalen der Chem. u. Pharm. 1862. Suppl. Bd. 2. S. 238. — Zeitschrift f. Biologie 1866. Bd. 2. S. 6 u. 189.

zerfalles im Thierkörper für die Entwicklung der Lehre von der Ernährung von wesentlicher Bedeutung sei.

Es gelang nun Pettenkofer einen Apparat zur Untersuchung des Gaswechsels auszudenken und herzustellen[1]), der wie die damit angestellten Controlversuche beweisen, genaue Resultate gibt und der ferner, wie die vielen mit ihm gemeinschaftlich von Pettenkofer und mir[2]) an Hunden und Menschen ausgeführten Versuche darthun, allen Anforderungen entspricht. Man sollte wenigstens denken, der Apparat habe nach der Bereicherung unserer Kenntnisse über die Vorgänge im Thierkörper durch die Respirationsversuche am Hunde bei Hunger, bei ausschliesslicher Zufuhr von Fett und Kohlehydraten, bei Fütterung mit Fleisch, dann mit Fleisch und Fett, Fleisch und Kohlehydraten, ferner durch die Untersuchungen über den Stoffverbrauch des normalen, des diabetischen und des leukämischen Menschen sich bewährt und seinen Zweck erfüllt.

Ueberblicken wir sämmtliche Arbeiten, zu welchen der Apparat vorwaltend oder nebenbei gedient hat, so gewahren wir darunter theils Thatsachen, welche gegenwärtig bereits schon als selbstverständlich angesehen und ohne Nennung der Autoren weiter verwendet werden, theils solche, welche zwar feststehen, aber vorläufig noch ignorirt werden.

Es gelang uns zu zeigen, dass bei dem hungernden Hunde wirklich nur Eiweiss und Fett zerstört wird, da der in 24 Stunden ausgeschiedene und bestimmte Stickstoff und Kohlenstoff, auf Eiweiss und Fett berechnet, genau so viel Sauerstoff zur Verwandlung in die Endprodukte, welche durch Nieren, Darm, Haut und Lungen ausgeschieden werden, braucht, als in der gleichen Zeit durch die Respiration aus der Luft in den Kreislauf eintritt. Die Zwischenglieder werden also in dieser Zeit völlig in die Ausscheidungsprodukte umgewandelt. — Das Gleiche stellte sich bei Zufuhr von reinem Fleisch heraus; es war bei mittleren Mengen von reinem Fleisch möglich die Elemente der Einnahmen genau in den Aus-

1) Pettenkofer, Annalen der Chem. und Pharm. 1862. Suppl. Bd. 2. S. 1.

2) Pettenkofer u. Voit, Zeitschrift f. Biologie 1866. Bd. 2. S. 459. — 1867. Bd. 3. S. 380. — 1869. Bd. 5. S. 319 u. 369. — 1871. Bd. 7. S. 433. — 1873 Bd. 9. S. 1 u. 435. —

gaben wieder zu finden d. h. den Körper damit auf seiner Zusammensetzung zu erhalten, und den Verlust von Eiweiss und Fett zu verhüten. Bei geringeren Mengen von Fleisch wurde noch Eiweiss und Fett vom Körper abgegeben, bei grösseren gelangte sowohl Eiweiss als auch Fett zum Ansatze. Von ganz besonderer Bedeutung für die Auslegung der unter dem Einflusse der Fette und Kohlehydrate erhaltenen Versuchsresultate und für die Entwicklung der Lehre von der Fettbildung im Thierkörper wurde der letztere von uns zum ersten Male sicher geführte Nachweis, dass bei der normalen Zersetzung des Eiweisses Fett sich abspaltet. — Durch Zusatz von Fett oder Kohlehydraten zu einer kleinen Menge von Fleisch erhält sich der Körper auf seiner Zusammensetzung, während man ohne die stickstofffreien Substanzen zum gleichen Zwecke bedeutende Fleischmengen braucht. — Es gelingt leicht schon durch geringe Gaben von Fett eine gewisse Menge von Fett am Körper zum Ansatz zu bringen; das Fett wird im Körper ungleich schwerer zerstört als das Eiweiss, denn während letzteres unter Umständen ganz zerfällt, kann ersteres abgelagert werden. Es lassen sich die hier stattfindenden Verhältnisse ganz einfach ableiten, wenn man bedenkt, dass bei dem Zerfalle des Eiweisses stets eine gewisse Menge von Fett als Produkt auftritt und dass dieses leichter weiter angegriffen wird als das aus dem Darme aufgenommene Fett. — Die Bedeutung der Kohlehydrate stellte sich nach unseren Untersuchungen als eine ganz andere dar, als bis dahin angenommen worden war. Während der Nachweis einer Ablagerung von Fett im Organismus bei Fütterung mit Fett sehr leicht gelingt, ist ein solcher für die Kohlehydrate, selbst bei den grössten Quantitäten derselben, nicht möglich; stets erschien, auch in den äussersten Fällen, der Kohlenstoff der Kohlehydrate in den Ausscheidungen wieder und es bleibt nur so viel Kohlenstoff zurück als dem aus dem Eiweiss möglicherweise entstandenen Fett entspricht. Im Thierkörper werden, wie aus unseren Versuchen unwiderleglich hervorgeht, ganz bedeutende Mengen von Zucker bis zu Kohlensäure und Wasser zerlegt und oxydirt, während die meisten Physiologen auf nicht beweisende Versuche gestützt[1]) annehmen, dass der Zucker im Thier

1) Scheremetjewsky, Ber. d. k. sächs. Ges. d. Wiss., 1868 S. 154; siehe dagegen Voit Zeitschrift f. Biologie 1873. Bd. 9. S. 508.

nicht verbrenne, und Viele darauf eine Erklärung der Zuckerharnruhr aufbauen. Die Kohlehydrate unterscheiden sich demnach in ihrer Wirkung auf die stofflichen Vorgänge im Thierkörper in ganz bestimmter Weise von den Fetten; sie schützen nur das aus dem gleichzeitig zersetzten Eiweiss hervorgegangene Fett vor dem weiteren Zerfalle. In Verhütung der Fettabgabe vom Körper thun 175 Gr. Kohlehydrate die gleichen Dienste wie 100 Gr. Fett; man wird sich in dem Getriebe der Zersetzungen im Thierkörper nur dann zurecht finden, wenn man die von uns gefundenen Thatsachen festhält, dass am leichtesten das Eiweiss und die Kohlehydrate zerlegt werden, jedoch ungleich schwieriger die Fette, mögen sie aus dem Darm eingetreten sein oder im Körper aus dem Eiweiss sich abgetrennt haben. — Es konnte nach allen diesen Erfahrungen über die Gesammtzersetzung im Körper unter dem Einflusse der verschiedensten Nahrungsstoffe angegeben werden, welche Stoffe und wieviel davon man dareichen müsse, um einen Körper auf seiner Zusammensetzung zu erhalten oder auf eine gewünschte Zusammensetzung zu bringen, wodurch in das eigentliche Gebiet der Ernährung eingedrungen wurde.

Vor Allem wichtig für die Vorstellungen über die Zersetzungen im thierischen Organismus wurde die Verfolgung der Sauerstoffaufnahme. Früher hatte man die Idee, der Sauerstoff wäre die nächste Ursache für die Zersetzung; man meinte, es werde in einen Thierkörper eine bestimmte Menge von Sauerstoff aufgenommen, der dann die Stoffe oxydire. Aus unseren Versuchen ging dagegen hervor, dass die Sauerstoffaufnahme unter sonst gleichen äusseren Verhältnissen äusserst verschieden ist, und dass die Stoffe im Thierkörper nicht nach ihrer Verwandtschaft zum Sauerstoff zerstört werden und dabei eine gewisse Menge von Sauerstoff in Beschlag nehmen müssen.

Ich habe an vielen Stellen[1]) ausgesprochen, dass der Sauerstoff nicht die nächste Ursache des Zerfalles der Stoffe ist; die Bedingungen des Zerfalles finden sich in den Zellen des Organismus, die Sauerstoffaufnahme richtet sich umgekehrt nach der

1) Zeitschr. f. Biologie 1869. Bd. 5, S. 169; 1870. Bd. 6, S. 388; 1871. Bd. 7, S. 197, 455, 465, 493; 1872. Bd. 8, S. 383; 1873. Bd. 9, S. 32, 436, 526.

Menge der Zerfallprodukte und ist eine secundäre. Obwohl ich den fundamentalen, früher von allen Physiologen getheilten Irrthum, dass der Sauerstoff der Zerstörer im Thierkörper sei, aufgedeckt und namentlich Liebig gegenüber meine auf die ausgedehntesten Versuche gegründeten Vorstellungen vertheidigt habe, so nehmen die Einen doch keine Notiz davon und behalten wohlgemuth die falsche Meinung bei, Andere, welche auf anderem Wege zu der gleichen Vorstellung wie ich gekommen sind, verschweigen beharrlich, dass längst vor ihnen aus zahlreichen Bestimmungen der Gesammtaufnahme von Sauerstoff in den Körper während 24 Stunden das Gleiche erschlossen worden ist.

Nachdem wir von der früheren allgemein gehegten Vorstellung einer direkten Verbindung des Sauerstoffs mit dem Kohlenstoff und Wasserstoff der Stoffe im Thierkörper uns losgelöst hatten, konnte ich [1]) es aussprechen, dass es sich im Körper um allmählige Spaltungen handle, bei denen der vorhandene Sauerstoff nach und nach eintritt; ich hob zugleich hervor, dass bei den meisten sogenannten Verbrennungen z. B. des Holzes, des Fettes etc. es ebenso ist, da auch dabei durch die Anzündungstemperatur erzeugte Spaltungsprodukte sich allmählig mit dem Sauerstoff verbinden. Ich kam so durch unsere Versuche für den Gesammtkörper zu der gleichen Ansicht, welche früher schon Hermann[2]) gestützt auf seine Beobachtungen für die thätigen Muskeln, welche trotz Abwesenheit von freiem Sauerstoff fortfahren Kohlensäure zu bilden, ausgesprochen hat, dass nämlich bei der Muskelarbeit nicht eine Oxydation, sondern eine Spaltung einer complicirten Substanz stattfindet. Pflüger[3]) schliesst aus seiner Beobachtung, nach welcher Frösche ohne eine Spur von Sauerstoff noch lange fortfahren Kohlensäure zu bilden, ebenfalls, dass bei dem Lebensprocesse nicht eine direkte Oxydation, sondern eine Dissociation sauerstoffreicher Verbindungen gegeben sei und findet den Keim dieser Ansicht in der vorzüglich gegen mich gerichteten Abhandlung von Liebig[4]) über die Quelle

1) Voit, Zeitschr. f. Biologie 1869. Bd. 5, S. 169; 1870. Bd. 6, S. 321.
2) Hermann, Gas- und Stoffwechsel der Muskeln 1867.
3) Pflüger, Arch. f. d. ges. Physiologie 1872. Bd. 6, S. 52.
4) Liebig, Sitz-Ber. d. k. Akad. d. Wiss. 1869. II. S. 432.

der Muskelkraft, ohne von den früheren ganz bestimmten Angaben von Hermann und denen von mir nur das Geringste zu erwähnen.

Wir haben mit dem grossen Respirationsapparate nicht nur Untersuchungen an Hunden, sondern auch an Menschen angestellt, und zwar an gesunden und kranken. An normalen Menschen wurden dabei zum ersten Male alle Ausscheidungsproducte controlirt und die Grösse der Umsetzungen festgestellt und zwar bei Hunger und verschiedenster Kost bei einem kräftigen Arbeiter und einem schlecht genährten Individuum. Es wurde beim Menschen die wichtige Thatsache gefunden, dass die Sauerstoffaufnahme und die Kohlensäureabgabe bis zu einer gewissen Grenze zeitlich von einander unabhängig sind. Ferner wurde dargethan, dass bei der Arbeitsleistung unter gesteigerter Sauerstoffaufnahme viel mehr Fett, aber nicht mehr Eiweiss verbraucht wird. Man schreibt die Auffindung dieser Thatsache gewöhnlich Anderen zu, welche eine Vermehrung der Kohlensäureausscheidung bei der Arbeit nachwiesen; daraus vermag man aber selbstverständlich nicht den Schluss zu ziehen, dass dabei mehr Fett zerstört worden ist, da der gleiche Effect ebenso von einer gesteigerten Eiweisszerzetzung herrühren könnte. — Die Versuche an einem an hochgradigem Diabetes leidenden Menschen ergaben, dass derselbe bei gleicher Kost mehr Eiweiss und Fett zersetzt als ein gesunder kräftiger Arbeiter und dabei weniger Sauerstoff aufnimmt als letzterer. Da bei Gesunden bei reichlicher Nahrungszufuhr eine ebenso grosse Zersetzung stattfinden kann wie bei dem Diabetiker, oder bei schwächlichen Menschen bei gleicher Kost eine ähnlich geringe Sauerstoffaufnahme, ohne dass Zucker im Harn bei ihnen auftritt, so mussten wir schliessen, dass nicht die reichliche Zersetzung für sich allein oder die geringe Sauerstoffaufnahme für sich allein zur Zuckerausscheidung führt, sondern das Missverhältniss im Gang der Zersetzung und der Sauerstoffaufnahme. Wir haben damit keine Theorie des Diabetes aufstellen wollen, wie Manche meinen, ja wir haben es in unserer Hauptarbeit[1]) wohlweislich vermieden das Wort „Wesen des Diabetes" zu gebrauchen; wir studirten einfach die Zersetzungen im Leibe des Diabetikers und sagten ausdrücklich, es werde die Kenntniss der Abweichung der Zersetzungen von den normalen zum Verständniss

1) Pettenkofer und Voit, Zeitschr. f. Biologie 1867. Bd. 3, S. 380.

des abnormen Processes beitragen, mag eine solche Störung die Ursache der Krankheit oder nur ein Symptom derselben sein. Wir zogen aus den von uns gefundenen Thatsachen die nächsten Schlussfolgerungen, und man wird immer mit diesen Thatsachen rechnen müssen, wenn man die Vorgänge bei der Zuckerharnruhr verstehen will. —

Es geht aus unseren Versuchen mit dem Respirationsapparate klar hervor, welches Ziel wir dabei im Auge hatten; wir wollten die Grösse der Stoffzersetzungen im Körper unter verschiedenen Umständen kennen lernen, indem wir alle Ausscheidungsprodukte bestimmten. Nach einem anderen Prinzipe gebaute Apparate für die Bestimmung der abgegebenen Kohlensäure und des Wassers und des aufgenommenen Sauerstoffs hätten wohl ebenfalls zu diesem Zwecke dienen können, denn das Wesentliche an der Sache ist nicht der Apparat, sondern der Rückschluss aus den Zersetzungsprodukten auf das im Körper zersetzte Material.

Darum sind auch die Resultate der bekannten Respirationsuntersuchungen von Regnault und Reiset[1]) mit den unsrigen gar nicht zu vergleichen, denn die beiden haben nicht den mindesten Zusammenhang mit einander. Die französischen Forscher wollten nur über die Grösse der Kohlensäureausscheidung und der Sauerstoffaufnahme bei verschiedenen Thieren und über einige andere Fragen des Gasaustausches Untersuchungen anstellen; wir dagegen machten unsere Versuche, um über die im Körper zersetzten Stoffe weitere Aufschlüsse zu erhalten, die wir durch Bestimmung der Eiweisszersetzung allein nicht erreichten. Desshalb nahmen auch Regnault und Reiset auf die Zusammensetzung der eingenommenen Nahrung und die übrigen Ausscheidungen gar keine Rücksicht, während dies für unsere Versuche ein unumgängliches Erforderniss ist.

Den bis dahin gebrauchten Respirationsapparaten klebten vorzüglich zwei Mängel an; sie nöthigten erstens unter Umständen zu athmen, unter denen Menschen und Thiere nicht zu athmen gewöhnt sind, und vor Allem vermisst man zweckmässige Controlversuche über den Grad der Genauigkeit der Angaben derselben.

1) Regnault und Reiset, Annal. d. Chem. u. Pharm. 1850. Bd. 73, S. 269.

Der von Regnault und Reiset ursprünglich erdachte Apparat war nur für kleinere Thiere gebaut und liess eine Bestimmung des abgegebenen Wassers nicht zu. An kleinen Thieren hätten wir aber unsere Ernährungsversuche nicht anstellen können, da wir neben den gasförmigen Ausscheidungsprodukten mit Einschluss des Wassers auch die durch Harn und Koth entleerten genau kennen mussten, und die völlige Aufsammlung des auf die Versuchszeit treffenden Harns nur bei grösseren Thieren gelingt.

Der später von Reiset nach dem nämlichen Principe hergestellte, für die Untersuchung der Kohlensäureabgabe und der Sauerstoffaufnahme bei Schafen eingerichtete Apparat ermunterte nicht sehr zur Adoptirung des Princips für ein in grösserem Maassstabe herzustellendes Instrument, denn Reiset gelangte damit zu unglaublichen und unmöglichen Resultaten, abgesehen davon, dass er nicht weiter vorging als früher mit Regnault, und die Fragen, welche sich jetzt an Untersuchungen der Art knüpfen, gar nicht kannte.

Apparate, bei welchen die Thiere gebunden und in eine ungewohnte Lage gebracht, oder durch Ventile irgend welcher Art zu athmen genöthigt werden, sind für unsere Zwecke nicht brauchbar, da wir zur Genüge erfahren haben, welch' grossen Einfluss auf die Zersetzung des Fettes oder der Kohlehydrate im Thierkörper solche Veranstaltungen durch Herbeiführung von allerlei Körperbewegungen ausüben.

Das Princip des Pettenkofer'schen Respirationsapparates, das Versuchsthier unverletzt und ungebunden nicht in eine stagnirende Luft oder unter sonst ungewohnte Verhältnisse zu bringen, sondern in einen beständig und beliebig mit gewöhnlicher atmosphärischer Luft zu ventilirenden Raum zu setzen, die wechselnde Luft genau zu messen, kleine Bruchtheile der ein- und austretenden Luft fortlaufend auf gewisse Bestandtheile zu untersuchen und die Differenz dann auf den ganzen Luftstrom zu rechnen, endlich die Fehlergrenzen des Apparates und der Methoden durch Controlversuche zu ermitteln, hat sich so bewährt, dass wir es nicht verlassen werden und den Widerstand dagegen nicht begreifen.

Ich weiss recht wohl, dass von Manchen, die sich als exakte

Naturforscher rühmen, gewisse Einwendungen dagegen gemacht werden, wie z. B. ein so grosser und complicirter Apparat köme unmöglich genaue Resultate geben, oder es müsse durch Diffusion ein Verlust eintreten, da der Versuchsraum nicht luftdicht geschlossen sei, und was derlei Redensarten noch mehr sind, welche dann bei Leuten, die sonst weiter nichts von dem Apparate wissen und denen die Zwecke, die dadurch verfolgt werden sollen, gleichgültig sind, keine Theilnahme für denselben erwecken. Man sollte bei solchen Einwendungen bedenken, dass wir doch auch einige Kritik besitzen, welche wir thatsächlich wohl mehr angewandt haben als jene mit ihren unbewiesenen Behauptungen. Denn es wird stets in jenen Kreisen stillschweigend darüber hinwegegangen, dass wir unseren Apparat auf die Genauigkeit seiner Angaben durch viele Controlversuche[1]) geprüft haben; aber so voreingenommen scheint man in der Wissenschaft heut' zu Tage noch sein zu können, dass man den Angaben eines Apparates, der wie kein anderer untersucht worden ist, Misstrauen entgegenbringt, während man ohne Weiteres denen anderer Apparate Glauben schenkt, an denen nie Controlbestimmungen gemacht worden sind.

Solche Controlversuche geben allein die Gewissheit der Zuverlässigkeit der Resultate und es ist die Pflicht eines Jeden, der sich über den Gaswechsel eines Thierkörpers unterrichten will, seinen Apparat durch Entwicklung einer bekannten Menge von Kohlensäure und Wasser auf den Grad der Genauigkeit der Angaben zu prüfen und zugleich die eigene Geschicklichkeit zu controliren. Es könnten sich nämlich auch Leute finden, welche, die vielen von uns gemachten Erfahrungen unbeachtet lassend, nicht zum Ziele kommen, und dann die Schuld dem Apparate und nicht sich selbst zumessen. —

Der Pettenkofer'sche Apparat war für Menschen und grössere Thiere eingerichtet worden; gewisse Fragen konnten aber nur an kleineren Thieren oder an einzelnen Theilen des Körpers erlediget werden, so z. B. die nach der Aenderung des Gaswechsels bei Blutentziehungen, bei der Einwirkung gewisser Arzneimittel,

---

1) Siehe hierüber: Zeitschrift für Biologie 1875. Bd. 11, S. 126—186.

bei verschiedenen Temperaturen der umgebenden Luft, bei winterschlafenden Thieren, an dem Arm eines Menschen. Der grosse Apparat wäre zur Untersuchung an Kaninchen, Katzen, Murmelthieren etc. viel zu massig und die Resultate wegen der geringen absoluten Menge von Kohlensäure, Wasser und Sauerstoff nicht genau genug gewesen. Es stellte sich daher das Bedürfniss heraus für die kleinen bei solchen Thieren vorkommenden Werthe ebenfalls eine Genauigkeit von 1—3% zu erhalten.

Ich habe schon seit mehreren Jahren einen solchen kleineren Apparat im physiologischen Institute aufgestellt und mit der Zeit alle möglichen Verbesserungen an ihm angebracht, bis er endlich diejenige Form angenommen hat, welche er jetzt definitiv besitzt. Es sind auch, um alle seine Eigenschaften kennen zu lernen, schon zahlreiche Versuche mit ihm ausgeführt und zum Theil auch veröffentlicht worden[1]). Aengstliche Gemüther haben, weil der Apparat nicht schon längst beschrieben worden ist, allerlei Befürchtungen gehegt. Es vermögen sich eben Manche bei der fieberhaften Hast unserer Zeit, das was man den Tag über Alles angestellt hat und gefunden zu haben glaubt, am nämlichen Abende der erstaunten Mitwelt vorzuführen, nicht vorzustellen, dass Jemand eine fertige Sache einige Jahre sich selbst überlässt, sie würden es viel leichter begriffen haben, wenn der Apparat mit allem Pomp beschrieben worden wäre, und dann, nachdem er zu einigen dürftigen Versuchen gedient, vom Schauplatz wieder verschwunden wäre, wie es so häufig geschieht.

Dieser kleine Respirationsapparat ist nach dem von Pettenkofer bei seinem grossen Apparate angewendeten Principe gebaut. Das Thier befindet sich dabei, wie vorher schon angegeben worden ist, in einem genügend ventilirten, hinreichend grossen Raume; das Volum der gewechselten Luft wird genau gemessen, ein bekannter Bruchtheil derselben, einmal ehe sie in den Raum

1) J. Bauer, über die Zersetzungsvorgänge im Thierkörper unter dem Einflusse von Blutentziehungen, Zeitschrift f. Biologie 1872. Bd. 8, S. 567. — H. v. Böck u. J. Bauer, über den Einfluss einiger Arzneimittel auf den Gasaustausch bei Thieren, a. a. O. 1874. Bd. 10. S. 336. — Fr. Erismann, zur Physiologie der Wasserverdunstung durch die Haut, a. a. O. 1875. Bd. 11, S. 1. —

eintritt und dann nachdem sie die gasförmigen Ausscheidungen der Haut und Lunge des Thieres aufgenommen hat, auf den Gehalt an Kohlensäure, Wasser etc. untersucht, und die Differenz auf die ganze Luftmenge berechnet.

Schon Pettenkofer hat hervorgehoben, wie solche Differenzbestimmungen den grossen, gewöhnlich unterschätzten Vortheil haben, dass dabei die constanten Fehler der Untersuchung eliminirt werden, weil alle Operationen gleichheitlich sowohl bei der einströmenden als auch bei der abströmenden Luft ausgeführt werden, und nur die Differenz der beiden Bestimmungen zu ermitteln ist, welche noch richtig gefunden werden kann, wo eine absolute Bestimmung an ganz unvermeidlichen Fehlern leiden würde.

Es war unthunlich, den Pettenkofer'schen Apparat in seiner Form einfach zu copiren und entsprechend zu verkleinern; es musste eine ganze Reihe von wesentlichen Aenderungen daran vorgenommen werden, sowie auch an dem grossen Apparate seit seiner Beschreibung durch Pettenkofer mancherlei Verbesserungen angebracht worden sind, welche hier ebenfalls theilweise Erwähnung finden werden.

Der kleine Apparat ist auf den dieser Abhandlung beigegebenen drei Tafeln (XIII, XIV, XV) abgebildet. Die Tafel XIII enthält eine Ansicht derjenigen Vorrichtungen, welche auf der einen Seite einer durch die Röhre D gezogen gedachten senkrechten Ebene aufgestellt sind, die Tafel XIV eine Ansicht der auf der andern Seite dieser Ebene befindlichen Vorrichtungen; auf der Tafel XV sind einige Details aufgenommen. Die Herstellung der beiden ersten Tafeln geschah in der Art, dass zunächst von jeder Seite des Apparates ein photographisches Bild hergestellt wurde, und zwar bei Tafel XIII von links her, bei Tafel XIV von rechts her gesehen; dadurch gelang es, ein ganz naturgetreues Bild des immerhin complicirten Apparates mit den richtigen Dimensionen und Verhältnissen zu gewinnen, wie es dem Zeichner sonst wohl kaum zu geben möglich gewesen wäre. Die Photographien dienten nun dem Zeichner als Grundlage für die weitere Ausführung.

Das Thier befindet sich in dem Raume H (Tafel XIII und XIV) Derselbe stellt einen auf einer Tischplatte stehenden Würfel mit

einer Seitenlänge von 40 Cmtr., also einem Kubikinhalte von 64 Liter dar. Er besteht aus einem soliden Rahmen von Zink, in welchen Scheiben von dickem Glase eingesetzt sind; die an der vorderen Seite befindliche in Metall gefasste Glastafel lässt sich in einem Falz auf- und abbewegen und dient als Thür zum Einbringen des Thieres. Um diesen Kasten gehörig zu ventiliren, ist eine Oeffnung für das Wegsaugen der Luft und eine zweite Oeffnung für das Eintreten frischer Luft angebracht. Die Letztere findet sich in der auf Tafel XIII dem Beschauer zugekehrten Glasfläche; es ist zu dem Zwecke ein rundes Loch von 2.7 Cmtr. Durchmesser an der oberen linken Ecke eingebohrt und in dieses ein unter rechtem Winkel abgebogenes, wohl lackirtes Rohr *a* von Eisenblech mit Kautschukdichtung und Ueberwurfschraube, welche in ein am Rohr befindliches Gewinde eingreift und eine Metallplatte jederseits an das Glas andrückt, befestigt. Der eine kürzere Schenkel des Rohres sieht nach Aussen, der längere Schenkel befindet sich im Kasten und geht bis auf den Boden desselben herab. Die Oeffnung für das Wegsaugen der Luft aus dem Kasten ist an der der Eingangsthüre gegenüber liegenden Seite; sie ist in der Mitte der betreffenden Glastafel angebracht und auf die gleiche Weise mit einem Blechrohre *b* versehen, dessen kurzer Schenkel nach Aussen mündet, und dessen längerer Schenkel nach aufwärts bis nahe an die Decke des Kastens reicht. Die Luft tritt demnach bei der Ventilation unten in den Kasten ein, streicht über das Thier weg und tritt oben aus.

Bis auf die Ein- und Austrittsöffnung und die Lücken zwischen dem Rahmen und dem Falze der Thüre ist der Kasten völlig luftdicht geschlossen. Es ist dem Pettenkofer'schen Apparate von gedankenlosen Leuten öfters der Vorwurf gemacht worden, dass er nicht luftdicht schliesse und dass desshalb durch Diffusion ein Austausch der im Kasten befindlichen Luft gegen der äussere Zimmerluft stattfinden müsse, wodurch natürlich die Resultate ganz unzuverlässig würden. Dem gegenüber hat schon Pettenkofer dargethan, dass Undichtigkeiten an der Kammer keinen nachtheiligen Einfluss auf die Genauigkeit des Versuches ausüben; denn es tritt durch jede Oeffnung Luft von der gleichen bekannten Zusammensetzung hinein, und es ist ferner die Geschwindigkeit dieser

einströmenden Luft unter allen Umständen grösser als die Geschwindigkeit der Diffusion, so dass von Innen nach Aussen nie ein Austausch stattfindet, so wenig als bei einem gut ziehenden Ofen Rauch oder ein Verbrennungsprodukt aus den tausend Ritzen entweicht. Pettenkofer hat dies für seinen grossen Apparat dadurch bewiesen, dass er im Innern der Kammer penetrant riechende Dämpfe entwickelte und an den Spalten und Oeffnungen der Thüre beobachtete; solange die Ventilation der Kammer durch die Saugcylinder im Gange ist, lässt sich ausserhalb von dem Geruche nicht das Mindeste wahrnehmen. Für diejenigen, welche sich von vorgefassten Schulmeinungen nicht frei machen können, dienen jedoch am besten die Controlbestimmungen zur Wiederlegung ihrer Vorstellungen, nach denen die in der Kammer entwickelte Kohlensäure und das Wasser völlig in dem aus ihr gesogenen Luftstrome enthalten sind.

Es ist jedoch auch möglich die kleine Kammer bis auf die Eintritts- und Austrittsöffnung vollkommen zu verschliessen. Man kann nämlich leicht und rasch durch einige wurstförmige Streifen von Klebwachs die Spalten an der Thüre verkleben. Man ist dann im Stande, die Dichtigkeit der Kammer zu prüfen, indem man Leuchtgas durch das Eintrittsrohr einleitet und dann, wenn man sicher ist dadurch alle atmosphärische Luft aus dem Kasten verdrängt zu haben, nach dem Absperren des Austrittsrohres durch einen Kautschukstopfen die undichten Stellen mit einem Lichte aufsucht. Wo eine solche sich vorfindet, tritt bei dem starken Drucke entzündbares Gas aus, wornach man leicht jede Undichtigkeit beseitigen kann. Auf eine andere einfache Art der Prüfung der Dichtigkeit der Kammer werde ich noch bei der Prüfung der Dichtigkeit der Leitung bis zu den kleinen Saugcylindern zurückkommen. Der angegebene Verschluss an der Thüre wird dann angebracht, wenn man ausschliesslich durch die Eintrittsöffnung Luft zuleiten will, wenn z. B. das Thier in wasserfreier oder mit Wasser gesättigter Luft oder in kohlensäurefreier Luft athmen soll.

Der Raum *H*, in welchem das Thier sich befindet, muss nun ausgiebig ventilirt werden, so dass keine grössere Menge von Wasser, Kohlensäure und anderen Zersetzungsprodukten sich darin anhäuft als in einer normalen Luft, in der wir zu athmem gewohnt sind,

Nach den Angaben von Pettenkofer fängt die Luft eines Raumes, in welchem Thiere geathmet haben, bei 1‰ Kohlensäure zu riechen an, bei 10‰ ist sie für uns auf die Dauer unerträglich geworden; eine gute Luft soll nie mehr als 2‰ Kohlensäure enthalten.

Die Ventilation geschieht bei dem Pettenkofer'schen Apparat bekanntlich durch zwei grosse alternirend auf- und abgehende Saugcylinder, welche die Luft aus der Kammer durch eine grosse Gasuhr saugen und durch ein fallendes Gewicht getrieben werden, das seinerseits durch eine mittelst eines sehr sinnreichen Regulators entsprechend wirkende Dampfmaschine aufgezogen wird. In der Aufhängung der Saugcylinder und in der Einrichtung der Ventile derselben sind seit der Beschreibung durch Pettenkofer einige zweckmässige Aenderungen nach den Zeichnungen von Professor Linde vorgenommen worden.

Die Ventilation am kleinen Apparate wird nicht durch Saugcylinder und eine Dampfmaschine besorgt, sondern durch die Bewegung der Trommel der messenden Gasuhr B, deren Axe mit der Axe eines oberschlächtigen Wasserrades C in Verbindung steht. Die an der hinteren Wand angebrachte Eintrittsöffnung der Gasuhr steht durch das 172 Cmtr. lange und 3 Cmtr. im Durchmesser haltende Blechrohr D in luftdichter Verbindung mit dem Athemraum, so dass die Gasuhr bei der Drehung ihrer Trommel Luft aus der Kammer ansaugt und zugleich die Messung des Luftstromes besorgt. An Stelle der durch die Gasuhrtrommel aus der Kammer genommenen Luft tritt alsbald frische Luft von Aussen in die Kammer ein, ohne dass eine irgend erhebliche Druckdifferenz dabei entsteht.

Bei dem grossen Pettenkofer'schen Apparate ist zwischen dem Kasten und der grossen Gasuhr eine Befeuchtungsvorrichtung angebracht, damit nicht die die Gasuhr passirende Luft Wasser entführt, wodurch die Messung ungenau wird. Da die in die grössere Gasuhr eintretende Luft von dem Versuchsraume kommt und stets nahezu mit Wasserdampf gesättigt ist, so ist am kleinen Apparate die Befeuchtungsvorrichtung vorläufig weggelassen worden, um grössere Widerstände in der Hauptleitung zu vermeiden; anfangs wurde die Gasuhr häufig aufgefüllt und geaicht, später stellte es sich heraus, dass wenn man vor jedem Versuche die Gasuhr auf-

füllt und dabei gewisse noch zu erwähnende Vorsichtsmaassregeln gebraucht, dann die Angaben der Gasuhr so übereinstimmende sind, dass sowohl die Befeuchtungsvorrichtung als auch die wiederholte Aichung unnöthig ist.

Die grössere Gasuhr meines Apparates ist eine solche für 5 Flammen und zeigt bei einer Umdrehung 6.7 Liter an. Sie ist anders construirt als die früher an dem Versuchstisch des grossen Apparates verwendeten Uhren. Wenn nämlich beim Umdrehen der Trommelaxe wegen der an den Leitungen vorhandenen Widerstände nicht entsprechend Luft eintreten kann, z. B. bei stärkerer Ventilation, so reicht die gewöhnliche Construktion nicht aus, da bei derselben in dem angegebenen Falle wegen des ungenügenden Uebereinandergreifens der Schaufeln der Trommel die niedrige Wasserschicht durchbrochen und die Luft ohne die Trommel bewegt zu haben von der Austrittsöffnung her eingesaugt wird. Dies ist jetzt durch Verlängerung der Scheidewände für den Eintritt und Austritt der Luft in die einzelnen Kammern der Messtrommel vermieden, wodurch die Wasserschichte auf einer Seite höher gehoben und auf der anderen Seite tiefer gesenkt werden kann, ohne dass Luft von dem empfangenden in den abgebenden Theil der Messtrommel übertritt. An der Uhr sind vier Zifferblätter, jedes in 10 Grade getheilt, angebracht; ein Grad des oberen Zifferblattes entspricht 1 Liter, von dem der zehnte Theil noch abgeschätzt werden kann; ein Grad des nächsten Zifferblattes zeigt 10, einer des folgenden 100 und einer des letzten Blattes 1000 Liter an, so dass also eine ganze Umdrehung des letzteren 10000 Liter entspricht.

An der aus der hintern Wand des Gehäuses der Gasuhr hervorstehenden und in einer Stopfbüchse laufenden Axe der Trommel ist ein 8 Cmtr. im Durchmesser haltendes Kammrad (Taf. XIV, c.) angesteckt, in welches ein zweites gleich grosses, an der Axe des Wasserrades befindliches Kammrad d eingreift. Die Gasuhr steht auf einer gusseisernen Platte, welche durch drei Stellschrauben so gestellt wird, dass die Kämme der beiden Räder genau in einander passen.

Das oberschlächtige aus wohl lackirtem Eisenblech verfertigte Wasserrad C hat einen Durchmesser von 60 Cmtr. und besitzt 24

Kammern, von denen jede 330 Cubikcmtr. Wasser fasst. Das Rad ist durch ein Doppelkreuz von soliden Eisenstäben getragen; die Axe desselben läuft in zwei Lagern, welche in zwei starken eisernen Trägern angebracht sind. Die Träger des Rades und der eiserne Tisch der Gasuhr sind auf einer grossen Eisenplatte befestiget.

Die Kammern des Rades werden von Wasser beschlagen, welches aus einem Reservoir (Taf. XIII, E) abfliesst. Das etwa 9 Liter Wasser fassende Reservoir aus Eisenblech steht auf einem 1.17 Meter hohen Träger, der auf der Eisenplatte fest eingelassen ist; der Boden des Reservoirs ist 67 Cmtr. über der nächsten Kammer des Wasserrades. In e befindet sich das Abflussrohr für das das Rad treibende Wasser; das Kautschukrohr f führt das Wasser aus der Wasserleitung zu; durch das Kautschukrohr g, welches an ein in dem Reservoir befindliches Ueberlaufrohr angesteckt ist, fliesst das überschüssig zuströmende Wasser ab. Durch diese Vorrichtung wird das Wasser im Reservoir stets auf gleichem Stand erhalten und fällt mit gleicher Kraft auf das Rad.

Die zur Bewegung des Rades und des ganzen Apparates nöthige Wassermenge ist eine sehr geringe. Bei mittlerer Geschwindigkeit braucht man dazu in einer Stunde 177 Liter Wasser, aber schon mit 61 Liter in der Stunde lässt sich eben der Apparat treiben, für die grösste Geschwindigkeit bei völlig geöffnetem Hahn fliessen 360 Liter Wasser in der Stunde ab.

Das auf das Rad gefallene und von den Schaufeln wieder entleerte Wasser sammelt sich in einem zwischen den Trägern unterhalb des Rades liegenden Troge i von Eisenblech, von welchem es durch das Kautschukrohr h abläuft. Damit kein Wasser beim Entleeren der Kammern umherspritzt, ruhen in dem Troge die die untere Hälfte des Rades umgebenden Backen k von Eisenblech.

Die Bewegung des Rades und der Gasuhrtrommel ist bei gleich vertheilten Widerständen eine ganz gleichmässige und continuirliche, während bei der Ventilation durch Saugcylinder am todten Punct die Bewegung des Luftstroms auf einen Moment unterbrochen wird.

Die Grösse der Ventilation kann variirt werden je nach der Menge des auf das Rad auffallenden Wassers, welche durch die Stellung des Abflusshahnes am Reservoir regulirt wird. Man ist

dadurch im Stand, zwischen 450 und 3400 Liter Luft in der Stunde durch den Versuchskasten gehen zu lassen. Der letztere Luftwechsel ist so bedeutend, dass man leicht den Raum für die Thiere noch grösser machen und für Hunde von einem Gewichte von 10—12 Kilo die genügende Ventilation geben könnte. Da bei einer Umdrehung des Wasserrades auch die Trommel der Gasuhr sich 1 Mal dreht, so werden also bei jeder Umdrehung 6.7 Liter Luft aus dem Versuchsraume weggenommen; in 1 Stunde macht demnach das Rad 67 bis 507 Umdrehungen.

Bei einer mittleren Ventilation von 1500 Liter in der Stunde bei Versuchen mit einer grossen Katze befanden sich in der aus dem Apparate kommenden Luft zwischen 1.8 und 3.0 ‰ Kohlensäure, während die eintretende Luft 0.55 bis 1.20 ‰ enthielt.

Da der Versuchsraum einen Cubus von 40 Cmtr. Seitenlänge darstellt, so fasst er 64 Liter und hat einen Querschnitt von 1600 □ Cmtr. Bei einer Ventilation von 450 Liter in der Stunde treffen auf 1 Sekunde 125 Cubikcmtr. Luft und also für 1 Sekunde $\frac{125}{1600}$ = 0.08 Meter Geschwindigkeit; bei einer Ventilation von 3400 Liter in der Stunde treffen auf 1 Sekunde 944 Cubikcmtr. Luft und daher für 1 Sekunde $\frac{944}{1600}$ = 0.60 Meter Geschwindigkeit. Weil nun erst bei einer Geschwindigkeit der Luft von 1 Meter in der Sekunde das Gefühl des Zuges entsteht, so befindet sich das Thier auch in dieser Beziehung unter normalen Verhältnissen.

Wir haben schon mehrmals, auf den erfahrenen Rath des Herrn Prof. Linde hin, ernstlich daran gedacht, auch an dem grossen Respirationsapparate das gleiche Prinzip der Bewegung anzuwenden. Es würden dann die beiden Saugcylinder, der Regulator und die Dampfmaschine wegfallen, und man hätte nur einen durch Wasser getriebenan Motor, z. B. ein von den Gebrüdern Hax in Frankfurt gebautes Tangentialrad mit der Axe der grossen Gasuhr in Verbindung zn setzen. Die Widerstände, welche dabei überwunden werden müssen, sind nur geringe. Bei dem kleinen Apparate ist, wie schon angegeben, auch die Befeuchtungsvorrichtung weggelassen worden, da von der aus dem Kasten tretenden wasserreichen Luft nur wenig Wasser aus der grösseren Gasuhr entführt wird, welches man nach jedem Versuche wieder ergänzt. Der Vortheil der neuen

Einrichtung für den grossen Apparat bestände zunächst in der wesentlichen Ersparniss bei der ersten Anlage, vor Allem aber in der Bequemlichkeit bei der Benützung desselben. Bei einem Versuche mit dem grossen Apparate muss man jetzt mehrere Stunden vorher die Dampfmaschine anheizen, und man hat dabei beständig, Tag und Nacht, einen geübten Heizer nöthig; man entschliesst sich daher der Kosten und der Unbequemlichkeit halber nur schwer zu ausgedehnten Versuchsreihen mit demselben. Dies ist bei dem kleinen Apparate ganz anders; man braucht nur den Wasserhahn zu drehen und kann somit jeden Augenblick den Apparat in Gang setzen, ohne einer Bedienung und Aufsicht zu bedürfen. Es würde bei dem Betriebe durch Wasser ein Versuch mit dem grossen Apparate keine grössere Mühe machen als mit dem kleinen; wenn die Nebenvorrichtungen stets bereit gehalten werden, so ist in Zeit von 1½ Stunden Alles für einen 24 stündigen Versuch fertig.

Durch die ventilirende Gasuhr wird das Volumen der aus dem Versuchsraum gezogenen Luft auch zugleich gemessen. Pettenkofer hat das Verdienst, zuerst auf die Brauchbarkeit dieses Instrumentes für wissenschaftliche Zwecke aufmerksam gemacht zu haben. Er hat gezeigt, dass man durch Aichung mit bekannten Luftmengen die Gasuhr zu einem der genauesten Messinstrumente machen kann; es lässt sich dann mit ihr das Volumen eines Luftstroms so genau messen, als man irgend einen kubischen Raum durch sein Volumen oder sein Gewicht Wasser zu ermitteln vermag. Die bei dem Athmen eines Thieres eintretende Aenderung des Volumens der Luft, dadurch, dass der aufgenommene Sauerstoff nicht nur zur Bildung von Kohlensäure, sondern auch von Wasser und anderen sauerstoffhaltigen Zersetzungsprodukten, welche zum Theil nicht gleich aus dem Körper austreten, verwendet wird, hat nach den Auseinandersetzungen von Pettenkofer[1]) bei der starken Verdünnung mit Luft keinen Einfluss und ist ganz zu vernachlässigen, da sie selbst bei den ungünstigen Voraussetzungen nicht 0.1 % des Luftstroms beträgt. Ebensowenig bringt die durch eine Aenderung in der Temperatur und in dem Feuchtigkeitsgehalte

1) Annalen der Chem. u. Pharm. 1862. Suppl. Bd. 2, S. 11.

stattfindende Volumsänderung bei der Anordnung des Apparates einen irgend beachtenswerthen Fehler hervor.

Es handelt sich nun darum, nachdem der für das Thier bestimmte Raum gehörig ventilirt und die Menge der gewechselten Luft gemessen ist, die eintretende und die mit den gasförmigen Ausscheidungsprodukten des Thieres beladene Luft genau zu untersuchen. Es ist unmöglich aus der gesammten Luft durch Absorptionsapparate diese stets nur in geringer Menge vorhandenen Produkte völlig wegzunehmen, die Apparate hätten dabei zu grosse Dimensionen angenommen. Desshalb hat Pettenkofer die atmosphärische Luft wie sie ist, mit allen ihren Bestandtheilen in die Kammer eintreten lassen, und nur einen genau gemessenen Bruchtheil der ein- und austretenden Luft fortlaufend der Untersuchung unterworfen. Hätte er die eintretende Luft vorher von Kohlensäure und Wasser befreit, so hätte, wenn die Absorption auch ganz gelungen wäre, der ganze Apparat absolut luftdicht schliessen müssen und die Luft nur an einer Stelle eindringen dürfen, was nur schwer und mit grossen Umständlichkeiten zu erreichen ist; ausserdem wären für das Thier durch den Aufenthalt in einer trockenen Luft wenigstens in Beziehung der Wasserverdunstung, ungünstige und abnorme Verhältnisse gesetzt gewesen. Bei dem kleinen Apparate ist es, wie ich vorher schon angegeben habe, möglich, den Versuchsraum luftdicht zu schliessen und eine ihres Wassers oder ihrer Kohlensäure beraubte Luft eintreten zu lassen; jedoch wird dieses Verfahren nicht für gewöhnlich, sondern nur bei bestimmten Fragen benützt.

Es ist ungleich einfacher und genauer einen bekannten Bruchtheil der eintretenden Luft auf ihren Gehalt an Kohlensäure, Wasser etc. zu untersuchen und durch den Vergleich mit der Zusammensetzung eines Theils der austretenden Luft das, was das Thier dazu geliefert hat, zu bestimmen. Es handelt sich also dabei, da die eintretende Luft schon Wasser und Kohlensäure enthält, wesentlich um die Ermittelung der Differenzen in der ein- und austretenden Luft, woraus der schon vorher berührte grosse Vortheil der Eliminirung der constanten Fehler der Untersuchung erwächst.

Man untersucht einen gemessenen und immer gleichen Bruchtheil

der Gesammtluft mit aller Schärfe. Je genauer die Bestimmung des Wassers oder der Kohlensäure ist, desto kleiner kann der Bruchtheil der untersuchten Luft werden, von dem aus auf die Gesammtluft gerechnet werden soll. Da man nun nach den Angaben von Pettenkofer selbst bei ziemlich langen Absorptionsröhren in 1 Stunde nur etwa 5 Liter Luft durchleiten darf, wenn man auf eine vollständige Absorption der Kohlensäure zählen will, so musste er bei seinem grossen Apparate bei einem Gesammtluftstrome von 20000 Liter und mehr in 1 Stunde das Ergebniss der Untersuchung des Bruchtheiles der Luft mit 4000 multipliciren d. h. er konnte nur etwa 0.025 % der Gesammtluftmenge untersuchen. Dieser Umstand verlangt nun eine ausserordentliche Ausbildung in der Bestimmung des Wassers und der Kohlensäure, was auch den Bemühungen Pettenkofer's gelang. Jedoch vermochten nur die Controlversuche darüber Aufschluss zu geben, ob es wirklich möglich ist, aus der Untersuchung eines so kleinen Bruchtheiles auf das Ganze zu rechnen. In der That, es konnte unter solchen Verhältnissen der Kohlenstoffgehalt einer im Respirationsapparate brennenden Stearinkerze oder das darin aus einem Kolben verdampfte Wasser genauer als auf 1 % wieder gefunden werden. Dies stellt sich nun bei dem kleinen Apparate ungleich günstiger, da mit ihm die gleiche Menge Luft wie am grossen Apparate untersucht wird, die Gesammtmenge der Luft jedoch um Vieles kleiner ist. Die Menge der untersuchten Luft beträgt dabei nämlich in der Stunde gewöhnlich 7 Liter, die Menge der Gesammtluft etwa 1600 Liter, so dass das Resultat der Untersuchung nur mit 228 zu multipliciren ist und bis zu 0.44 % der Luft analysirt werden.

Es ist klar, und Pettenkofer hat dies besonders hervorgehoben, dass bei der Bestimmung der Differenzen in der ein- und abströmenden Luft während der ganzen Dauer eines Versuches stets der gleiche Bruchtheil der Gesammtluft untersucht werden muss. Wenn während eines Versuches die äussere Luft in ihrer Zusammensetzung nicht wechselte und namentlich wenn in dieser Zeit das im Apparate befindliche Thier stets die gleiche Menge von Kohlensäure etc. abgeben würde, dann wäre es gleichgültig, ob zeitweise mehr oder weniger der Luft zur Untersuchung käme. Da

dies aber nicht der Fall ist, und das Thier z. B. kurze Zeit nach der Nahrungsaufnahme ansehnlich mehr Kohlensäure ausscheidet als später, so würde man, falls in der ersten Zeit ein grösserer Bruchtheil der Luft durch die Absorptionsapparate geleitet würde, im Ganzen eine viel zu grosse Kohlensäureausscheidung berechnen.

Die Wegnahme eines bestimmten Bruchtheiles der Gesammtluft zur Untersuchung geschieht auch bei meinem kleinen Apparate durch kleine Pumpen, deren Bewegung von dem Wasserrade ausgeht, welches auch die Gasuhrtrommel in Bewegung versetzt. Diese Pumpen saugen eine Probe der Luft an, und drücken dann dieselbe durch die Absorptionsapparate für Wasser und Kohlensäure.

Die Vorrichtungen dazu können nur durch die Zeichnungen der beigegebenen Tafeln klar gemacht werden. Ich habe schon gesagt, dass eine durch die Röhre D gezogene senkrechte Ebene die Einrichtungen für die Untersuchung der Luftproben in zwei Theile scheidet; der eine Theil, nämlich die Pumpen mit den Ventilen, die Apparate für die Absorption des Wassers und für die Wiederbefeuchtung der Luft sind auf der Tafel XIV. gezeichnet, der andere Theil, die Barytwasserröhren mit den Gasuhren auf der Tafel XIII.

An der Axe des Wasserrades (Tafel XIV) befindet sich ein 10 Cmtr. langer Krummzapfen l mit einem Schlitz, in welchen mittelst eines Schraubenzapfens die Stange m befestiget wird. Bei der Drehung des Wasserrades wird der Krummzapfen mit herumgedreht und dadurch die Stange in hin- und hergehende Bewegung versetzt. Die Stange bewegt nun denjenigen Theil des Apparates, welcher das Auf- und Niedergehen der Pumpen zu besorgen hat. Zu dem Zwecke ist in der Tischplatte eine 32 Cmtr. hohe, feste Messingsäule n eingelassen, die an ihrem oberen Ende eine Stahlaxe trägt, auf welcher in einer Hülse der vertikal stehende, 22 Cmtr. lange Messinghebel o drehbar ist. In das untere Ende des Hebels greift in einen Schlitz die Fortsetzung der Stange m ein. Die letztere verdünnt sich nämlich nahe ihrem Ende zu einem drehrunden Stab, welcher in die mit dem Hebel o verbundene Röhre eingesteckt und in beliebiger Tiefe durch eine Schraube q fixirt werden kann.

Das obere Ende des Hebels trägt eine Hülse, in welcher ein 32 Cmtr. langer Stahlstab durch eine Schraube festgehalten wird; an dem Stahlstab werden die vier Rollen tragenden Messingklötze p festgeschraubt. Ich habe, da in der Zeichnung der Tafel XIV. dieser Theil des Apparates nicht genau zu übersehen ist, auf der Tafel XV. Fig. 1. eine weitere Abbildung desselben, und zwar von Oben her gesehen, gegeben, wo die Stellung der vier an dem Stahlstab befestigten Klötze p mit den Rollen besser heraustritt. Es ist klar, dass bei der hin- und hergehenden Bewegung des unteren Theiles des Hebels der obere Theil mit dem Stahlstabe die entgegengesetzte Exkursion ausführt; durch feine Striche an der Drehungshülse ist angezeigt, wie weit der Hebel aus der vertikalen Stellung nach beiden Seiten abgelenkt wird.

Auf den Rollen des Stahlstabes sind die Darmsaiten (Taf. XV. Fig. 1. s.) aufgewickelt, an welchen die vier kleinen Saugpumpen auf- und abbewegt werden; jede der Rollen ist auf ihrer Axe durch eine starke Feder fixirt. Links und rechts von der Säule n steht ein aus Messing gefertigter Träger, an dessen oberem Querstück je zwei Führungsrollen t angebracht sind, über welche die an den Saugcylindern der Pumpen in einem Häkchen eingehängten Darmsaiten laufen. Bewegt sich der obere Theil des Hebels o nach rechts, so werden dadurch die beiden links stehenden Saugcylinder gehoben, und die rechts stehenden gesenkt; umgekehrt ist es bei der Bewegung des Hebels nach links.

Die Einrichtung der Saugpumpen, wie sie sich jetzt auch an dem Versuchstische des grossen Respirationsapparates nach der Angabe Pettenkofer's findet, ist aus der Zeichnung der Taf. XIV. leicht ersichtlich. Ein 13.7 Cmtr. hohes und 6.4 Cmtr. im Durchmesser haltendes festes Glas ist bis auf 2.2 Cmtr. von seinem Rande mit Quecksilber gefüllt; am Boden des Glases ist eine U-förmig gebogene Glasröhre durch eine 2 Cmtr. dicke Schicht von Wachs, das im geschmolzenen Zustande eingegossen wird, befestiget, so dass sie mit ihrem einen, inneren Ende 2.6 Cmtr. über das Niveau des Quecksilbers herausragt. Ueber dieses innere Ende der Röhre wird ein 12 Cmtr. hoher und 3.5 Cmtr. weiter, oben geschlossener Glascylinder gestülpt, welcher oben eine Messingfassung trägt, an welcher

der die Darmsaite aufnehmende Stahlstab von 9.5 Cmtr. Höhe senkrecht eingelassen ist; über den Stahlstab wird ein mit einem Deckel versehenes Messinggefäss geschoben, in dessen Inneres Schrote zur Ausgleichung des Gewichtes und zur Beschwerung des Glascylinders gelegt werden. — Das andere äussere Ende der Glasröhre ist unter rechtem Winkel abgebogen und durch ein Kautschukrohr mit dem einen Arm eines 3 armigen Gabelrohres in Verbindung gesetzt; die beiden anderen Arme sind mit den zwei Ventilen verbunden. Als Ventil dient ein in der Mitte bauchig ausgetriebenes Glasgefäss mit zwei nach aufwärts gerichteten Schenkeln, dessen Form und Stellung aus der in 1/2 der natürlichen Grösse gegebenen Zeichnung Fig. 2 auf Tafel XV, ersichtlich ist. Die beiden Ventile enthalten Quecksilber und sind in entgegengesetzter Richtung geneigt, so zwar, dass das Quecksilber den tieferen Theil absperrt, in dem einen den linken Schenkel, in dem anderen aber den rechten Schenkel. Die Ventile sind zwischen den an dem kleinen Träger befindlichen federnden Gabeln durch Schrauben eingeklemmt, welchen Gabeln durch die unteren Schrauben jede beliebige Neigung gegeben werden kann.

Das Spiel der Pumpen wird nun leicht verständlich sein. Bewegen sich die Cylinder nach aufwärts, so saugen sie sich durch das Ventil u (das Eintrittsventil) voll mit Luft, während das Ventil v absperrt; bewegen sich die Cylinder dagegen durch ihre Schwere nach abwärts, so drücken sie die vorher aufgesaugte Luft durch das Ventil v (das Austrittsventil) fort, während jetzt das Ventil u schliesst.

Die Einstellung der Ventile kann so fein gemacht werden, dass ein sehr schwacher Druck hinreicht die kurze Quecksilbersäule in dem tieferen Schenkel etwas herabzudrücken und den Weg frei zu machen. Zu dem Zwecke muss der Grösse der Ausbauchung an dem unteren Theil des Ventils und der Länge des horizontalen Theiles des angesetzten Glasrohres besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden. Ich benütze die gleichen Ventile, um bei tracheotomirten Kaninchen die Inspirationsluft von der Exspirationsluft zu scheiden; während in den gewöhnlich angewendeten Müller'schen Flaschenventilen das absperrende Quecksilber oder das Wasser mit

Gewalt hin- und hergeschleudert wird, und nicht ganz kräftige Thiere den Widerstand nur während kurzer Zeit überwinden, sieht man an den neuen Ventilen bei feiner Einstellung kaum eine Bewegung des Quecksilbers und die Kaninchen athmen stundenlang ohne Aenderung der Athmung durch dieselben.

Auch bei den Versuchen am Respirationsapparate sollen die Ventile nicht stärker geneigt werden als nöthig ist, um eben mit Sicherheit das Absperren zu bewirken, und dies geschieht, wenn beim Durchtreten der Luft an der Oberfläche des Quecksilbers eine Kräuselung wahrzunehmen ist; bei stärkerer Neigung treten grössere Widerstände und schleudernde Bewegungen des Quecksilbers auf, was zu einem Mitreissen von Quecksilberkügelchen und zu Unregelmässigkeiten im Luftstrome führt. Die von Pettenkofer den Saugpumpen gegebene Form ist zum Gelingen des Versuches ganz wesentlich, da sie es erlaubt, langsam und allmählig eine Probe der Luft anzusaugen, und dieselbe nachher ebenso langsam und allmählich durch die Absorptionsapparate zu drücken, so dass möglichst lange Zeit für die Absorption gegeben ist. Ich würde nach meinen Erfahrungen sehr davon abrathen, irgend eine Aenderung daran anzubringen; man wird nach zeitraubenden Misserfolgen wieder zur ursprünglichen Vorrichtung zurückkommen.

Es ist möglich, mehr oder weniger Luft durch einen Hub der Saugcylinder ansaugen zu lassen. Es kann dies auf mehrerlei Weise geschehen. Einmal indem man die Stange m in dem Schlitze des Krummzapfens l an dem Wasserrad oder in dem Schlitze an dem unteren Theil des Hebels o verschiebt; und endlich dadurch, dass man die Darmsaiten, an welchen die Saugcylinder hängen, durch geringere oder grössere Aufwickelung an den Rollen kürzer oder länger macht, wodurch die Cylinder dann mehr oder weniger aus dem Quecksilber gehoben werden.

Um die Exkursionen des Hebels o nach beiden Seiten ganz gleich zu machen, wird die Stange m in der mit dem unteren Schlitz des Hebels o verbundenen Hülse so weit eingesteckt und durch die Stellschraube q festgehalten, bis dieses Ziel erreicht ist; es werden dann die vier Saugcylinder bei gleicher Saitenlänge

gleich hoch gehoben. Durch Einlegen von Schroten in die auf den Cylindern befindlichen Gefässe werden die ungleichen Gewichte und Widerstände auf beiden Seiten äquilibrirt, und die Cylinder zugleich so beschwert, dass sie von selbst im Quecksilber herabsinken.

Die vier Pumpen nehmen zwei Proben der in den Kasten einströmenden äusseren Luft, und zwei Proben der aus dem Kasten austretenden inneren Luft zur Untersuchung weg. Die dem Beschauer auf der Tafel XIV, zugewendeten beiden Pumpen gehören für die äussere Luft und sind mit A I und A II bezeichnet, die von ihm abgewendeten Pumpen J I und J II sind für die innere Luft bestimmt. Man bemerkt, dass, da die entsprechenden Pumpen auf entgegengesetzten Seiten der Drehungsaxe des Hebels stehen, ohne Unterbrechung Proben der äusseren und inneren Luft zur Untersuchung gelangen.

Die Pumpen machen bei einer Umdrehung des Rades und der Gasuhrtrommel einen Auf- und Niedergang. Wenn im Mittel 1788 Liter Luft in der Stunde durch die grosse Gasuhr ventilirt werden, so werden 11.6 Liter durch eine der kleinen Gasuhren angegeben, so dass darauf 267 Umdrehungen der grösseren Gasuhr und ebensoviele Auf- und Niedergänge der Cylinder der kleinen Saugpumpen treffen. Mit einem Hub der letzteren werden daher etwa 43 Cubikcmtr. Luft angesaugt und beim Herabsinken wieder fortgedrückt; die 43 Cubikcmtr. Luft passiren in 13 Sekunden die Absorptions-Apparate.

Die Eintrittsventile der beiden Pumpen für die äussere Luft stehen mit einer langen Glasröhre A in Verbindung, welche dicht über der Eintrittsöffnung der Luft zu der Kammer mündet (Tafel XIII); die Glasröhre liegt dort auf der Deckscheibe des Kastens, biegt dann rechtwinkelig ab und geht gerade fort bis zum oberen Querstück des ersten rechts liegenden Trägers, wo sie sich gabelt, was am besten aus der Ansicht von Oben in der Figur 1 der Tafel XV, zu ersehen ist. Der eine unter rechtem Winkel sich abzweigende Schenkel A II geht dem Querstücke des Trägers entlang nach vorne und biegt dann gegen das Eintrittsventil der Pumpe A II ab. Der andere Schenkel A I geht in gerader Richtung weiter nach dem anderen linksseitigen Träger, biegt dort ebenfalls nach vorne ab

und wendet sich schliesslich nach abwärts zu dem Eintrittsventil der Pumpe A I.

Die für die innere Luft bestimmten Pumpen nehmen ihre Luft aus der Hauptröhre D weg, an welcher ein engeres Seitenrohr J von Blech angesetzt ist. Mit letzterem ist durch einen Kautschukschlauch eine Glasröhre mit luftdicht eingeschliffenem Glashahn befestiget, mit deren anderen Ende mittelst eines kurzen Schlauchs die längere Glasröhre J in Verbindung steht. Diese Glasröhre theilt sich ebenfalls an dem ersten, rechts liegenden Träger in zwei Schenkel; der eine J II begiebt sich gleich nach abwärts zu dem Eintrittsventil der Pumpe J II, der andere J I biegt erst in der Höhe des Eintrittsventils der Pumpe J I nach abwärts ab, um sich mit diesem Ventil zu vereinen.

Die von den Pumpen beim Niedergehen fortgedrückte Luft passirt die Absorptionsapparate für Wasser und Kohlensäure, und zuletzt die Gasuhren, woselbst sie gemessen wird.

Von dem Austrittsventil jeder Pumpe geht eine passend gebogene Glasröhre (A I u. II, J I und II) aus; diese vier Glasröhren sind in der hölzernen Brücke F in Rinnen eingesteckt und durch einen aufgeschraubten Deckel festgehalten; sie münden sämmtlich etwa 5 Cmtr. hinter der Brücke. In einer Entfernung von 37 Cmtr. von der ersten Brücke steht eine zweite G, in welche ebenfalls vier mit den Befeuchtungsapparaten in Zusammenhang stehende Glasröhren eingesteckt sind. Zwischen den in den beiden Brücken befindlichen Glasröhren befindet sich ein Zwischenraum, in den die Absorptionsapparate für das Wasser eingeschaltet werden.

Es sind dies kleine Glaskölbchen von der auf Tafel XV, Fig. 3 in $^1/_2$ der natürlichen Grösse gegebenen Form; sie werden durch die mit einem luftdicht eingeriebenen Glasstopfen verschliessbare Mündung mit kleinen in concentrirter Schwefelsäure getränkten Bimssteinstückchen gefüllt.

In der in Gemeinschaft mit meinem Bruder E. Voit und mit J. Forster herausgegebenen Abhandlung[1]): „über die Bestimmung des Wassers mittelst des Pettenkofer'schen Respirationsappa-

1) Zeitschrift für Biologie 1875. Bd. 11. S. 126.

rates" ist eingehend dargelegt worden, warum wir diese Form der Schwefelsäurekölbchen gewählt haben, und warum früher schon die ursprünglich von Pettenkofer ihnen gegebene, dem Liebig'schen Kugelapparate entlehnte Form verlassen wurde. Die neuen Kölbchen thun ganz ausserordentlich gute Dienste. Es sind stets zwei hinter einander gespannt, damit durch das zweite noch die letzte, meist nur Bruchtheile eines Milligramms betragende Spur des Wassers weggenommen wird. Wir haben schon 12 Versuche mit den nämlichen Kölbchen und derselben Füllung in gleicher Aufstellung gemacht und im zweiten noch immer nur eine Gewichtsvermehrung von einigen Milligrammen gefunden. Man muss sich jedoch hüten die schon öfters benützten, reichlich Wasser enthaltenden Kölbchen in zweiter Linie aufzustellen, da dann nach unserer Erfahrung durch den trockenen Luftstrom der verdünnten Schwefelsäure Wasser entzogen wird und die Kölbchen an Gewicht verlieren.

Das Gewicht der gefüllten Kölbchen beträgt zwischen 60 und 90 Gr.; es wird dasselbe auf einer feinen Waage meist nach der Methode durch Schwingungsbeobachtungen, auf $^1/_{10}$ Mgr. genommen. Je kleiner der Bruchtheil der untersuchten Luft gegenüber dem Gesammtluftstrom ist, desto genauer muss die Bestimmung des Bruchtheils sein. Man kann leicht berechnen, wie weit man in einem gegebenen Falle in der Bestimmung der Kohlensäure und des Wassers genau sein muss, um in dem Gesammtluftstrom keinen grösseren Fehler als 1% zu erhalten. Eine solche Berechnung lehrt uns auch, dass man mit grossen und schweren, viel über 100 Gr. wiegenden Absorptionsapparaten für das Wasser, welche man nicht so sicher wägen kann, den Fehler ganz enorm vermehrt, ohne dadurch irgend einen Vortheil in der Absorption des Wassers zu gewinnen.

Zur Füllung der Kölbchen werden die gewaschenen Bimssteinstückchen geglüht und noch heiss in die Schwefelsäure geworfen, damit sie sich vollsaugen, dann in einen Trichter abtropfen gelassen und in die Kölbchen gebracht; nach der Füllung werden die beiden Zugangsröhren zu dem Kölbchen durch ein kleines, an dem einen Ende mit einem soliden Glasstopfen versehenes Kautschukrohr verschlossen.

Ein besonderes Augenmerk muss auch auf die Kautschukverbindungen gerichtet werden. Die dazu benützten Kautschukschläuche werden zuvörderst auf ihre Dichtigkeit geprüft und zwar durch ein Quecksilbermanometer. Man bläst in den mit dem Manometer verbundenen Schlauch Luft ein, so dass der äussere Schenkel der Quecksilbersäule sich erhebt, und verschliesst dann den Schlauch mit einem Glasstopfen. Ist der Schlauch brauchbar, so bleibt der Unterschied in dem Stande des Quecksilbers in den beiden Schenkeln des Manometers bestehen. Man findet auf diese Weise sehr häufig Fehler in den Kautschukschläuchen. Auf dieselbe Weise wird auch die Dichtigkeit der Schwefelsäurekölbchen nach dem Füllen untersucht.

Bei unseren früher beschriebenen Irrfahrten in der Wasserbestimmung hatten wir auch bemerkt, dass nach dem Trocknen der Luft durch das erste Schwefelsäurekölbchen von dem folgenden Kautschukrohr Wasser weggenommen und im zweiten Kölbchen wieder abgelagert wird. Wir haben daher eine Zeit lang die zur Verbindung der Kölbchen unter einander und mit den Glasröhren zwischen den beiden Holzbrücken gebrauchten Kautschukröhrchen im Exsikkator über Schwefelsäure aufbewahrt und vor und nach dem Versuche gewogen. Wir sind jetzt davon ganz abgekommen, da wir es vorziehen, die Glasröhren ganz an einander stossen zu lassen, so dass keine Kautschukfläche frei bleibt, was auch für den vollständigen Verschluss von Bedeutung ist.

Die durch die Schwefelsäurekölbchen getrocknete Luft gelangt nun in Flaschen, in welchen sie sich wieder mit Wasserdampf sättiget, damit beim Durchgange durch die mit einem bestimmten Volum der Barytlösung gefüllten Kohlensäure-Absorptionsapparate das Volum dieser Lösung durch Entziehung von Wasser sich nicht vermindert. Die Befeuchtungsflaschen sind von derbem Glase, 13.5 Cmtr. hoch und 6.5 Cmtr. breit, und mit in Wasser getränkten Bimssteinstückchen gefüllt. Sie sind mit einem doppelt tubulirten Kautschukstopfen verschlossen; die eine der durchtretenden Glasröhren, welche mit der von der Brücke kommenden in Verbindung steht, reicht bis nahe an den Boden des Gefässes, die andere zur Barytwasserröhre führende nur bis dicht unter den Stopfen. Von

Zeit zu Zeit muss das Wasser in dem Gefässe erneuert werden; es wird dann so viel Wasser aufgegossen, bis sich nach völliger Durchtränkung der Bimssteinstücke nach einigem Stehen eine die Mündung der ersteren Glasröhre nicht erreichende Schicht Wasser am Boden angesammelt hat. —

Die Luft tritt aus dem Befeuchtungsapparate in ihrem weiteren Fortgange durch Kautschukschläuche in die zur Absorption der Kohlensäure bestimmten Barytwasserröhren. Dieser Theil des Apparates befindet sich auf der anderen Seite der durch das Rohr D gelegt gedachten senkrechten Ebene, und ist auf der Zeichnung der Tafel XIII aufgenommen. Jede der vier Luftproben tritt durch zwei mit Barytwasser gefüllte Röhren, eine längere und eine kürzere. Die Röhren für die innere Luft (JIa u. JIb, JIIa u. JIIb) sind an den hinteren Trägern der oberen für die Aufstellung der kleinen Gasuhren bestimmten Tischplatte befestiget, die für die äussere Luft (A Ia u. A Ib, AIIa u. A IIb) an den vorderen Trägern.

Die Vorrichtung zur Aufstellung der Barytwasserröhren ist auf Tafel XV. Figur 4 eigens abgebildet, und zwar von Oben und von der Seite gesehen. Der eine Theil derselben dient zur Befestigung an dem Träger, der andere Theil ist das Lager für die Barytröhre. Die Klemmvorrichtung stellt einen Messingklotz dar, an dessen einem Ende ein halbcylindrischer Ausschnitt angebracht ist; dieser Ausschnitt wird in die Trägerstange eingesteckt und dort in passender Höhe durch eine Klemmschraube befestiget. Der zweite Theil besteht aus einem Messingbacken, der mittelst einer Axe auf dem entsprechenden Backen der Klemmvorrichtung gedreht und in bestimmter Stellung durch eine Schraube festgestellt werden kann. Der Messingbacken trägt das Lager für die Barytröhre; zu beiden Seiten des Lagers befinden sich Vorsprünge, jeder mit einer Schraube versehen, durch welche der durch Schlitze eingeschobene Lagerdeckel festgeschraubt wird. Lager und Deckel sind mit Kautschukplatten gefüttert, um das Zerdrücken der Röhren zu vermeiden. Durch die Drehung des Backens kann der Röhre jede beliebige Neigung gegeben werden; für gewöhnlich stehen jedoch bei den Versuchen mit dem kleinen Apparate die Röhren nur sehr wenig

geneigt, um die Widerstände für den Durchtritt der Luft so klein als möglich zu machen.

Die grösseren Barytwasserröhren haben eine Länge von 110 Cmtr. und eine Breite von 2.8 Cmtr. und fassen 540 Cubikcmtr. Flüssigkeit; die kleineren Röhren sind 60 Cmtr. lang und 2.4 Cmtr. breit, und fassen 180 Cubikcmtr. Flüssigkeit. An dem Austrittsende jeder Röhre ist eine Kugel angeblasen, die sich zu einem Ansatzstücke für die Kautschukröhre verengert. In die Eintrittsöffnung wird ein Kautschukpfropf eingeschoben, in dessen Bohrung eine Glasröhre steckt, welche an ihrem im Innern der Barytröhre befindlichen Ende ein Stückchen eines engen Kautschukschlauches trägt.

Je nach der Zeitdauer des Versuches und der Grösse des Thieres ist die Menge und Concentration des in die Röhren eingefüllten Barytwassers verschieden. Gewöhnlich nehme ich für einen sechsstündigen Versuch bei einem bis zu fünf Kilo schweren Thiere in die grösseren Röhren für die innere Luft 240 Cubikcmtr. Barytwasser, von welchem für 30 Cubikcmtr. etwa 70 Cubikcmtr. der Oxalsäure (1 Cubikcmtr. = 1 Mgr. Kohlensäure) zur Neutralisation nöthig sind; in die grösseren Röhren für die äussere Luft kommen 240 Cubikcmtr. eines schwächeren Barytwassers (für 30 Cubikcmtr. = 30 Cubikcmtr. der Oxalsäure). In die vier kleineren Röhren werden 50—100 Cubikcmtr. des schwächeren Barytwassers gebracht.

Die Barytwassermischungen werden nach der Angabe Pettenkofer's in etwa 6 Liter Flüssigkeit haltenden Flaschen (siehe Tafel XV. Fig. 5) aufbewahrt, aus denen sie mit Saugpipetten aus einem Heberrohre mit Quetschhahn ausgezogen werden, während die dafür eintretende Luft über Bimsstein geht, welcher zur Absorption der Kohlensäure mit Natronlauge befeuchtet ist. In solchen Flaschen ändert sich der Gehalt des Barytwassers nur sehr allmählig. Zu dem Barytwasser muss aus dem von Pettenkofer[1]) angegebenen Grunde etwas Chlorbaryumlösung zugefügt werden.

Die durch die Pumpen weggedrückte Luft soll Blase für Blase durch das Barytwasser streichen. Der Grad der Schrägstellung der Röhren bedingt die Geschwindigkeit der durchtretenden

1) a. a. O. S. 27.

Luftblasen, welche sich nicht zu grösseren Blasen vereinigen dürfen. Es ist Manchen unverständlich geblieben, dass aus den durchrückenden Luftblasen alle Kohlensäure entfernt wird, da das Centrum der Luftblase doch eine gewisse Entfernung von dem Barytwasser hat; aber durch die beständige zum Theil rollende Bewegung der Blasen auf dem doch ziemlich langen Wege kommen alle Theilchen der Luft mit dem Barytwasser in Berührung, wie die Resultate der Controlversuche beweisen. —

Es bleibt jetzt nur noch übrig, das Volum der vier Luftproben zu messen, und dies geschieht in den vier auf der oberen Tischplatte aufgestellten kleineren Gasuhren, wo die Luft kohlensäurefrei und mit Wasserdunst gesättigt anlangt und nach der Messung entweicht.

In der schon citirten Abhandlung: „über die Bestimmung des Wassers mittelst des Pettenkofer'schen Respirationsapparates[1])" ist besonders hervorgehoben worden, dass die Gasuhren, wenn man genaue Resultate erhalten will, sorgfältigst geaicht werden müssen. Dies ist nun bei der gewöhnlichen Construktion der Gasuhr nicht möglich, da dabei die Uebertragung auf den letzten Zeiger durch eine Spindel ohne Ende geschieht; sind die Windungen der Spindel nicht völlig gleich geschnitten, was meist der Fall ist, so fallen die Angaben der Gasuhr verschieden aus; da man nämlich nie weiss, welcher Gang der Spindel eben benützt wird, so ist man nicht im Stande durch eine Aichung den wirklichen Werth der Drehung zu bestimmen. Es wurden daher schon seit längerer Zeit die gewöhnlichen Gasuhren für unsere Respirationsapparate verworfen und andere gewählt, bei welchen der die Unterabtheilungen angebende Zeiger fest mit der Axe der Trommel verbunden ist und sich mit ihr bewegt. Befindet sich dieser Zeiger an einem bestimmten Theilstriche des Zifferblattes, so hat die Trommel einen bestimmten und stets den nämlichen Stand, so dass sich jetzt durch Aichung der wirkliche Werth einen Trommelumdrehung und auch der eines Theiles einer Drehung leicht ermitteln lässt. Eine ganze Umdrehung des kleineren Zeigers der Gasuhr entspricht etwa 2.4 Liter;

---

1) a. a. O. S. 145.

da der Kreis in 100 Grade getheilt ist, so kann bis auf 24 Cubikcmtr. abgelesen und auf 2.4 Cubikcmtr. geschätzt werden. In der That stimmen drei hinter einander mit einem Wasservolum von nahezu 44 Liter gemachte Aichungen der gleichen Gasuhr bis auf diesen Werth unter einander überein. Solche Uhren sind in guter Ausführung von L. A. Riedinger in Augsburg oder von der Gasapparatenfabrik zu Schaffhausen zu beziehen.

Wir legen den grössten Werth auf die genaue Aichung der Gasuhren, denn man braucht nur eine kleine Rechnung zu machen, um zu ersehen, welche bedeutenden Fehler bei der Berechnung von einem kleinen untersuchten Luftvolum auf ein grösseres dann gemacht werden, wenn die Luftvolumina nicht genügend bekannt sind oder gewisse Fehlergränzen eingeführt werden. Die Wenigsten sind sich dessen bewusst, und meinen, wenn die Gasuhr einige Male mit einem geringen Luftvolumen geaicht ist und bis auf einige Prozente übereinstimmende Werthe gibt, dieselbe ohne Weiteres benützen zu können. Unser Aichapparat ist jetzt so vervollkommnet worden, dass man auf das Genaueste und sehr rasch die jeweiligen Angaben der Gasuhr feststellen kann.

Obwohl die Aichvorrichtung in der Abhandlung über die Bestimmung des Wassers[1]) beschrieben worden ist, so komme ich doch wegen der Wichtigkeit des Gegenstandes nochmals darauf zurück. In der Figur 6 der Tafel XV ist der Apparat in $1/20$ der natürlichen Grösse abgebildet.

Das aus einem Aspirator auslaufende Wasser von bekanntem Volum verdrängt ein gleiches Volum Luft aus einem Glasballon, welche Luft dann durch die Gasuhr getrieben wird und nach der Messung entweicht.

Der auf einem Holzgestelle stehende Aspirator fasst etwa 44 Kilo Wasser; ein wesentlich geringeres Volumen darf nicht genommen werden, da sonst die Genauigkeit der Aichung leidet. Der Aspirator ist aus starkem Zinkblech; an dem oberen Theile befindet sich ein Rohrstutzen zur Füllung des Apparates, an dem Boden ist ein messingenes Ausflussrohr mit Hahn angebracht, an welches das zum Glasballon führende Kautschukrohr angesteckt wird. Zwischen

1) a. a. O. S. 147.

dem Boden und dem Hahn ist ein unter rechtem Winkel abgehendes Messingrohr angesetzt, in welches eine als Wasserstandsmesser dienende senkrechte Glasröhre eingesteckt wird; an dem Glasrohr befindet sich, in der Höhe des verjüngten oberen Theiles des Aspirators, eine Marke, bis zu welcher man das Wasser einfüllt. Nach der vollständigen Füllung wird der Aspirator auf einer auf 1 Gr. noch ausschlagenden Dezimalwaage gewogen, die Temperatur des Wassers genommen, und nach dem Auslaufen des Wassers der Aspirator wieder gewogen. Der von uns benützte Aspirator fasst nach einer Anzahl von Wägungen, deren grösste Differenz bei verschiedener Temperatur 40 Gr. beträgt, 43720 Gr. Wasser. In der eben citirten Abhandlung[1]) ist eine Reihe solcher Wägungen vorgeführt worden.

Als Gefäss für das Ablaufen des Wassers aus dem Aspirator dient ein gewöhnlicher, in einem Zinktrog stehender Schwefelsäureballon. Derselbe ist durch einen dreifach tubulirten Kautschukstopfen verschlossen; in der einen Oeffnung steckt ein bis auf den Boden des Ballons reichendes und an seinem unteren Ende aufgebogenes, als Syphon wirkendes Glasrohr, dessen oberes Ende das vom Aspirator kommende Kautschukrohr aufnimmt; die zweite Oeffnung trägt ein dicht unter dem Stopfen mündendes Glasrohr, um den Ballon mit der Gasuhr durch einen Kautschukschlauch in Verbindung zu setzen; die dritte Oeffnung endlich ist durch ein Thermometer verschlossen. Eine im Umkreis der Ballonmündung angebrachte, über den Kautschukstopfen hervorstehende Messingfassung erlaubt durch Eingiessen von Wasser einen völlig luftdichten Verschluss herzustellen.

Ist der Aspirator gefüllt und der Ballon mit der Gasuhr verbunden, so treibt man zunächst mit dem Munde Luft durch das für den Aspirator bestimmte Kautschukrohr, bis der Zeiger der Gasuhr sich bewegt, wodurch die Spannung in dem Ballon und der Uhr hergestellt wird, damit im Momente des Eintretens von Wasser in den Ballon der Zeiger der Uhr sich zu bewegen beginnt. Sobald die Spannung eingetreten ist, drückt man die Kautschukröhre mit den Fingern ab und steckt sie an das Ausflussrohr des

---

1) a. a. O. S. 148.

Aspirators. Nun verschliesst man die Wasserstandsröhre am Aspirator, weil sonst beim Abfliessen des Wassers Luft durch die enge Röhre hineingerissen wird, liest die Gasuhr ab und öffnet den Hahn. Sofort beginnt der Zeiger der Gasuhr sich zu bewegen. Während des Ablaufens des Wassers notirt man von Zeit zu Zeit die Temperatur an dem Thermometer des Ballons und der Gasuhr; nach Vollendung des Abflusses öffnet man den Verschluss an der Manometerröhre, erhebt den Aspirator, um alles Wasser aus dem Kautschukschlauch zu entfernen, und liest dann abermals den Stand der Gasuhr ab.

Durch einen Flaschenzug wird darnach der volle Ballon in die Höhe gehoben, und durch einen Heber in wenigen Minuten das Wasser wieder in den Aspirator übergefüllt.

Das Wasser im Aspirator, im Ballon und in der Gasuhr, sowie die darin befindliche Luft sollen wo möglich die gleiche Temperatur haben, da Reductionen wegen der oft raschen und ungleichen Aenderung der Temperatur zu keinen genauen Resultaten führen. Es wird desshalb ein grösserer Wasservorrath in dem nach Norden gelegenen Raume, in welchem auch die Uhren und die Aichapparate stehen, aufbewahrt, und die Aichung an solchen Tagen vorgenommen, an denen nur geringe Temperaturschwankungen vorkommen. Man erhält dann bei mehrmaliger Aichung derselben Gasuhr für 43.720 Liter Luft nicht mehr als 2.4 Cubikcmtr. Differenz.

Da das in den Ballon einfliessende Wasser häufig eine etwas niedrigere Temperatur besitzt als die Zimmerluft, und da sich desshalb die aus dem Ballon durch das Wasser verdrängte erkältete Luft auf ihrem Wege bis zur Gasuhr wieder erwärmt, so muss in diesem Fall das Volumen der bei einer gewissen Temperatur verdrängten Luft entsprechend der Temperatur der in die Gasuhr eintretenden Luft nach bekannten Regeln vermehrt werden.

Der Wasserstand der Gasuhren ist von Zeit zu Zeit zu ergänzen. Es ist dabei zu berücksichtigen, dass das etwas enge mit Windungen versehene Ueberlaufrohr der Gasuhr dem Ablaufen des Wassers einen gewissen Widerstand entgegen setzt und desshalb das Ausfliessen erst beginnt, wenn das Niveau des Wassers in der Uhr höher steht als dem unteren Rande der Oeffnung entspricht,

Legt man aber, wenn das Wasser nach dem Auffüllen nicht mehr freiwillig abfliesst, den Finger oder einen Glasstab an die Oeffnung an, so folgt noch Tropfen auf Tropfen. Man erhält auf diese Weise stets den gleichen Wasserstand, und die Aichungen geben nur sehr geringe Unterschiede. Es ist auch dadurch, wie ich schon angegeben habe, eine öftere Aichung der grösseren Gasuhr ganz überflüssig geworden. Zum Beweise dafür theile ich die Resultate mehrerer unter solchen Cautelen angestellter Aichungen dieser Gasuhr mit:

| Luft durch den Ballon in Cubikcmtr. | Luft durch die Gasuhr in Cubikcmtr. | Angabe der Gasuhr in Cubikcmtr. | 1000 Cubikcmtr. der Uhr entsprechen in Cubikcmtr. |
|---|---|---|---|
| 43720 bei 18.02° | 43733 bei 18.35° | 43350 | 1008.8 |
| 43720 bei 17.83° | 43733 bei 17.79° | 43320 | 1009.2 |
| 43720 bei 17.76° | 43733 bei 17.76° | 43300 | 1009.7 |

Vor Beginn eines Versuches müssen nun nach der Zusammenstellung aller Vorrichtungen die Leitungen auf ihre Dichtigkeit geprüft werden. Es ist dies absolut nothwendig, da es auch bei aller Aufmerksamkeit nicht möglich ist, alle Undichtigkeiten von vorneherein zu vermeiden, und viele Versuche in Folge davon unbrauchbar würden. Oft hat sich eine seichte Rinne an der inneren Oberfläche einer Kautschukröhre als Ursache der Undichtigkeit herausgestellt. Eine solche Prüfung ist nun glücklicher Weise leicht und sicher möglich.

Die Hauptleitung muss von dem Abgange des Hauptrohres an der Kammer bis zur messenden grösseren Gasuhr dicht sein, weil sonst nicht aus der Kammer, sondern von Aussen kommende Luft in die Ritzen eindringt. Die Prüfung der Dichtigkeit dieser Hauptleitung braucht nur selten vorgenommen zu werden und geschieht wie die der Kammer einfach mit Leuchtgas, das man mit vollem Drucke in das Rohr *D* eintreibt, bis dieses ganz damit gefüllt ist, wornach man im Dunkeln untersucht, ob nirgends entzündbares Gas entströmt.

Die Prüfung der Dichtigkeit der Leitungen für die zu unter-

suchende Luft ist viel einfacher und muss vor jedem Versuch gemacht werden.

Um sich von der Dichtigkeit bis zu den Pumpen zu überzeugen, sperrt man den Eingang der Glasröhre *A* für die Probe der eintretenden Luft mit einem durch einen Glasstopfen geschlossenen Kautschukrohr ab, und ebenso den Eingang zur Glasröhre J für die Probe der aus der Kammer kommenden Luft durch Drehen des Glashahnes. Darauf hebt man nach einander die Cylinder der Pumpen, wobei bei völliger Dichtigkeit das Quecksilber in den Cylindern und in den Austrittsventilen mit in die Höhe gezogen wird und längere Zeit unverrückt auf seinem Stande bleibt. Bei der geringsten Undichtigkeit tritt Luft ein und das Anfangs gehobene Quecksilber sinkt zusehends herab. Auf die gleiche Weise prüft man auch die Dichtigkeit der Kammer, indem man die Eintrittsöffnung verschliesst, und einen der Saugcylinder für die innere Luft erhebt.

Zur Untersuchung der Dichtigkeit der Leitungen von der Pumpe ab bis zur Gasuhr, welche wegen der vielen Verbindungen ungleich schwieriger herzustellen ist, verschliesst man den Kautschukschlauch dicht an der kleinen Gasuhr mit einem Quetschhahn, erhebt die betreffende Pumpe, die sich mit Luft vollsaugt, und senkt sie dann allmählich wieder nieder. Als Führung lässt sich an jedem neben der Pumpe stehenden Träger in einer Hülse eine kleine Messingplatte *x*, welche auf Tafel XV, Fig 7. eigens abgebildet ist, verschieben und in beliebiger Höhe mittelst einer Schraube feststellen; in ihr befindet sich ein Loch zum Einschieben und Führen der Pumpenstange. Da für die Luft der Ausweg abgesperrt ist, so lastet die ganze Schwere der Pumpe auf dem Quecksilber im Innern des Cylinders und der Luft der Leitung. Anfangs wird die Luft unter Entweichen eines Theiles derselben durch das Austrittsventil, die Schwefelsäurekölbchen und die Barytwasserröhren comprimirt, das Niveau des Quecksilbers in dem Cylinder stellt sich ansehnlich niedriger als ausserhalb, und das Quecksilber im Eintrittsventil wird gehoben; in kurzer Zeit tritt aber ein Gleichgewichtszustand ein, und nun darf trotz des starken Druckes nicht die mindeste Verschiebung der Stange in der Führungsplatte wahrnehmbar sein. Jede Undichtigkeit verräth sich sofort durch

ein Sinken der Stange. Beim Oeffnen des Verschlusses an dem Schlauche fällt der Cylinder herab, was man durch Festhalten desselben verhütet.

Es ist leicht durch Abdrücken der verbindenden Kautschukröhren an verschiedenen Stellen den Ort der Undichtigkeit zu finden, und die völlige Dichtigkeit herzustellen.

Da von der eintretenden und austretenden Luft jedes Mal zwei Proben zur Analyse genommen werden, so kann man sich durch die Uebereinstimmung der Resultate der beiden Proben ebenfalls von der Dichtigkeit der Leitung und der Abwesenheit anderer Fehlerquellen überzeugen. Auf eine einzige Untersuchung der ein- oder austretenden Luft ist nach unseren Erfahrungen gar kein Werth zu legen; nur die Uebereinstimmung zweier Proben belehrt uns über die Genauigkeit der Arbeit und gibt die nöthige Zuversicht in der Ziehung der Schlussfolgerungen.

Ueber die Bestimmung des Wassers mittelst der mit Schwefelsäure beschickten Glaskölbchen haben wir uns schon zur Genüge in der mehrfach citirten Abhandlung[1]) ausgesprochen, und ist zu dieser Darlegung nichts weiter hinzuzufügen.

Die Bestimmung der Kohlensäure geschieht mit einer Lösung von Oxalsäure von bekanntem Gehalte (2.8636 gr. krystallisirte Oxalsäure zu 1 Liter in Wasser gelöst) auf die Weise, welche Pettenkofer[2]) früher eingehend beschrieben hat. Wir titriren eine erste Probe gewöhnlich mit Rosolsäure, die zweite mit Curcumapapier, da wir dieser Methode, wenn sie richtig ausgeführt wird, immer noch den Vorzug der grösseren Genauigkeit geben. Wir räumen aber ein, dass die Titrirung mit frisch bereiteter Rosolsäurelösung und einer verdünnten Schwefelsäure manche andere Vortheile hat, und bei den Versuchen mit dem kleinen Apparate, wo ein viel grösserer Bruchtheil der Luft untersucht wird, wohl anzuwenden ist.

Es ist auch bei dem kleinen Apparate möglich, ähnlich wie es bei dem grossen Pettenkofer'schen geschehen ist, die Luft auf andere Gasarten wie z. B. Wasserstoffgas oder Grubengas zu unter-

1) Zeitschr. f. Biologie 1875. Bd. 11, S. 126.

2) Annal. Chem. u. Pharm. 1862. Suppl. Bd. 2, S. 23.

suchen, und zwar durch Leiten einer Probe über glühendes Kupferoxyd oder Platinschwamm. Wir haben bei Mittheilung unserer Wasserbestimmungen hierüber gesprochen; wir würden es nach den dabei gemachten Erfahrungen vorziehen, eine gewisse Menge der Luft von etwa 50 bis 60 Liter in einem Gasometer anzusammeln und dann dieselbe langsam über die Verbrennungsröhren und nachher durch die Absorptionsapparate für Wasser und Kohlensäure zu drücken. Wenn sich in einem Volum der geglühten Luft mehr Wasser und Kohlensäure findet, als in einem gleichen Volum der ungeglühten Luft, dann ist entsprechend Wasser und Kohlensäure im Verbrennungsrohr aus anderen Gasen gebildet worden.

Die Bestimmung des Sauerstoffs geschieht bei den Versuchen mit unseren Respirationsapparaten bekanntlich nicht auf direktem, sondern wie gewöhnlich bei der Elementaranalyse auf indirektem Wege. Um was unter Berücksichtigung der Veränderung des Körpergewichtes die Summen der Ausgaben grösser sind als die der Einnahmen, das muss von Aussen an Sauerstoff aufgenommen worden sein. Die indirekte Ermittelung der Sauerstoffaufnahme setzt also neben der Kenntniss der Einnahmen und Ausgaben des Körpers die Bekanntschaft des Anfangs- und Endgewichtes des Thieres voraus. Die Feststellung des Körpergewichtes macht nun einige Schwierigkeiten, da es sich bei unseren Waagen nicht genauer als auf $^1/_{10}$ Gr. bestimmen lässt. Der Sauerstoffverbrauch kann also nur auf etwa $^2/_{10}$ Gr. mit Sicherheit angegeben werden, so dass bei kleinen Sauerstoffmengen der Fehler nicht unerheblich wird und z. B. bei einer Aufnahme von nur 4 Gr. Sauerstoff 5% ausmacht.

Man erfährt daraus, wieviel Sauerstoff von Aussen aufgenommen worden ist, aber nicht zu was derselbe im Innern des Körpers verwendet wurde. Man bekömmt über Letzteres jedoch noch weiteren Aufschluss, wenn man zusieht, ob zur Oxydation der im Organismus zersetzten Stoffe ebensoviel Sauerstoff nöthig ist als unterdessen von Aussen eintrat, oder ob weniger oder mehr dazu gehört. In den meisten Fällen stimmt die Grösse der Sauerstoffaufnahme mit der Sauerstoffabgabe in den Ausscheidungsprodukten überein; es kommt aber auch vor, dass ein Theil des eingetretenen Sauerstoffs irgendwie im Körper als solcher oder in Oxydationsprodukten zurückbleibt

oder dass auf Kosten eines früher schon angesammelten Sauerstoffvorrathes Wasser und Kohlensäure gebildet werden.

Es wäre gewiss, schon der Controle wegen, sehr wünschenswerth, wenn es gelänge, den Sauerstoff direkt zu ermitteln. Es ist bei unserem Verfahren nicht möglich durch Untersuchung einer kleinen Luftmenge nach der Bunsen'schen Methode den Sauerstoffverbrauch nur einigermaassen genau festzustellen, da die Differenz des Sauerstoffgehaltes der äusseren und der inneren Luft zu gering ist. Man könnte versuchen, die von einer Pumpe gesogene Luftprobe über eine mit Kupfer gefüllte Verbrennungsröhre zu drücken und so den Sauerstoff dem Gewichte nach zu bestimmen; aber man müsste vorher sich noch davon überzeugen, ob bei dem raschen Durchgang einer so grossen Luftmenge auch aller Sauerstoff verzehrt wird. Sollte dies nicht gelingen, so könnte man die grössere Gasuhr so einrichten, dass sie von dem durch sie gehenden Luftstrome ununterbrochen einen beliebigen, für jede Trommelumdrehung stets gleichen Theil (etwa 50 Liter) in einem Sammelbehälter zur Aufbewahrung bringt, welcher Bruchtheil die nämliche Zusammensetzung hat wie im Mittel die ganze durch die Gasuhr gegangene Luftmenge. Es sollen in dieser Richtung Versuche zur direkten Bestimmung des Sauerstoffs angestellt werden.

Alle Theile am Apparate sind, wie in den Abbildungen auf Tafel XIII und XIV, mit Zeichen versehen, und zwar die Leitungen der eintretenden äusseren Luft mit A, die der austretenden inneren Luft mit J. Da jede der Leitungen A und J zur Untersuchung von zwei Luftproben in zwei Theile auseinandergeht, so ist der eine Theil mit A I und J I, der andere mit A II und J II bezeichnet. Jede der vier Luftproben geht durch zwei Absorptionsapparate für das Wasser und durch zwei weitere für die Kohlensäure; man findet daher an den betreffenden Stellen die Bezeichnung A Ia und A Ib, A IIa und A IIb, ferner J Ia und J Ib, J IIa und J IIb. Diese Bezeichnungen sind leicht kenntlich angebracht, so dass man ganz mechanisch die einzelnen Theile des Apparates zusammensteckt, und jede Verwechslung der vielfachen Leitungen vermeidet.

Ist der ganze Apparat auf diese Weise zusammengestellt und

auf den dichten Verschluss geprüft, so werden die Gasuhren abgelesen und das Thier zum Einbringen in den Versuchsraum bereit gehalten. Das Thier wird in einem aus Weissblech verfertigten leichten Behälter mit Deckel (von etwa 470 Gr. Gewicht) auf einer grossen zweiarmigen Waage, welche bei der betreffenden Belastung noch auf 0.1 Gr. einen deutlichen Ausschlag gibt, gewogen, rasch in die Kammer gebracht, der Wasserhahn des Abflussrohres e gedreht und die Zeit abgelesen.

Man hat nun mit dem Versuche nichts weiter mehr zu thun, als höchstens die in einer der kleinen Gasuhren und im Zimmer aufgestellten Thermometer von Zeit zu Zeit abzulesen.

Man kann den Versuch verschieden lange Zeit währen lassen, bei Einfüllung einer grösseren Menge concentrirten Barytwassers in die Röhren lässt er sich auf zwei Tage und länger ausdehnen. Verzichtet man auf die doppelten Proben, so ist es möglich, zwei Versuche hintereinander, ohne das Thier aus dem Kasten zu nehmen anzustellen, indem man zuerst die Leitung für die Proben I und dann die für die Proben II einschaltet. Will man die Doppelproben beibehalten, so nimmt man das Thier nach Beendigung des ersten Versuchs aus dem Kasten und schaltet unterdess die bereit gehaltenen gewogenen und gefüllten Absorptionsapparate ein, was in einer halben Stunde geschehen ist.

Soll der Versuch beendiget werden, so wird das Thier aus der Kammer genommen und in das Blechgefäss gebracht, um es rasch zu wägen; zu gleicher Zeit wird der Zuflusshahn zum Wasserrad abgesperrt. Darnach liest man die Gasuhren ab, nimmt die Verbindungen auseinander, wiegt die Schwefelsäureapparate und bringt die acht Barytwasserproben in bereit gehaltene Fläschchen. Nach dem Absetzen des Niederschlags von kohlensaurem Baryt saugt man aus dem klaren Theil zur Titrirung die Pipette voll, in der Weise wie es Pettenkofer[1]) beschrieben hat.

Es ist klar, dass wenn das Thier während des Versuchs Harn oder Koth in die Kammer entleert, dies die Ermittelung des vom

1) a. a. O. S. 36.

Thier dampfförmig abgegebenen Wassers und die Berechnung der Sauerstoffaufnahme vereitelt; dagegen lässt sich die Bestimmung der Kohlensäure noch verwerthen.

Die Berechnung der Versuchsresultate ist eine ganz einfache.

Bei Anwendung des Pettenkofer'schen Apparates müssen die in der grossen Gasuhr und in den kleinen Gasuhren gemessenen Luftvolumina auf gleiche Temperatur und Feuchtigkeit gebracht werden, da die Temperatur in der grossen Gasuhr, namentlich im Winter, wegen der langsameren Erwärmung der bedeutenden Wassermasse, oft um 5 – 6° niedriger ist als in den kleinen Gasuhren. Zu dem Zwecke wurde für die beobachtete Temperatur die Luft als mit Feuchtigkeit gesättiget angenommen, und die Angabe der grossen Gasuhr auf die Temperatur und die derselben entsprechende Feuchtigkeit der kleinen Gasuhren gebracht.

Diese Reduktion ist bei dem kleinen Apparate nicht nöthig. Die vier kleinen Gasuhren und die grössere sind in ihrem Volum nur wenig unterschieden und zeigen immer die gleiche Temperatur an; die Temperatur im Zimmer wird desshalb möglichst gleich erhalten und der Apparat einige Zeit vor Beginn des Versuches natürlich ohne Einschaltung der Absorptionsapparate in Gang gesetzt.

Letzteres ist auch nöthig, um die von den früheren Versuchen herrührende, in den Leitungen befindliche Luft oder das in den Leitungen manchmal verdichtete Wasser zu entfernen. Es kann nämlich vorkommen, dass die am Schlusse eines Versuches in den inneren Leitungen befindliche, mit Wasserdampf nahezu gesättigte Luft beim Erkalten des Zimmers ihr Wasser theilweise niederschlägt, wodurch man ohne vorherige Ventilation bei dem nächsten Versuche viel zu hohe Werthe erhält, wie es z. B. bei den ersten Controlversuchen für das Wasser am kleinen Apparate der Fall war.

Der Luftdruck braucht ebenfalls nicht berücksichtiget zu werden, da er auf alle Theile des Apparates in gleicher Weise einwirkt.

Eine Differenz bei der Messung der Luftproben und der des ganzen Stromes besteht darin, dass die untersuchte Luft frei von

Kohlensäure ist, die Luftmasse des ganzen Stromes aber sammt ihrer Kohlensäure gemessen wird; der dadurch erzeugte Fehler, der sich leicht corrigiren liesse, ist jedoch nach den Berechnungen Pettenkofer's so gering, dass eine Correktion überflüssig ist. Zudem wirken hier zwei Fehler, der durch nicht völlige Sättigung des Gesammtstroms mit Wasserdampf und der durch den Kohlensäuregehalt desselben, im entgegengesetzten Sinne und compensiren sich theilweise.

Nach der Ablesung der Gasuhren, der Wägung der Schwefelsäurekölbchen und der Titrirung der Barytwässer berechnet man nach Pettenkofer zunächst nach den Resultaten der Aichung die durch die Gasuhren hindurch getretenen Luftvolumina, und dann mit Hilfe dieser Zahlen die in 1000 Liter der eintretenden und in 1000 Liter der austretenden Luft enthaltenen Mengen von Wasser und Kohlensäure. Die Differenz der beiden gibt an, wieviel Wasser oder Kohlensäure in der Kammer durch ein darin athmendes Thier oder eine darin brennende Kerze an 1000 Liter Luft hinzugekommen sind. Nach den Angaben der grösseren Gasuhr lässt sich dann die ganze vom Thier oder der Kerze abgegebene Wasser- und Kohlensäuremenge berechnen.

Ursprünglich befindet sich in dem Kasten und den Leitungsröhren reine atmosphärische Luft, am Ende des Versuches dagegen eine durch die Athmung des Thieres an Kohlensäure und Wasser reichere Luft. Da der Inhalt des Kastens 64 Liter, der des Hauptleitungsrohres D etwa 2.55 Liter beträgt, so hat man 66.55 Liter einer wasser- und kohlensäurereicheren Luft, deren Wasser und Kohlensäure mit in Rechnung zu kommen hat. Man könnte die Zusammensetzung dieser Luft leicht untersuchen, und ich hatte früher auch gleich hinter dem Kasten eine grosse etwa 6—8 Liter fassende Flasche eingeschaltet und darin durch Schütteln mit einer gemessenen Menge Barytwasser den Kohlensäuregehalt bestimmt. In einzelnen Fällen habe ich nach Wegnahme des Thieres oder der Kerze noch eine Zeit lang fort ventilirt, bis jene Luft durch gewöhnliche atmosphärische Luft ersetzt war. Es lässt sich aber ebensogut der Gehalt der rückständigen Luft berechnen, und zwar

auf die von Pettenkofer schon geübte Weise. In 1000 Liter der im Kasten zurückbleibenden Luft ist mehr Wasser und Kohlensäure enthalten als im Mittel in 1000 Liter der untersuchten und der durch die grössere Gasuhr gegangenen Luft, da die beiden letzteren durch die anfänglich im Kasten und der Röhre befindliche Luftmenge von 66.55 Liter verdünnt wurde. Sind z. B. im Ganzen bei einem sechsstündigen Versuche 10000 Liter durch die grössere Gasuhr gegangen, und darin 12 Gr. Wasser und 18 Gr. Kohlensäure gefunden worden, so frägt man, wieviel in den 66.55 Liter Luft des Kastens sich noch befinden, wenn in 10000—66.55 d. i. in 9933.5 Liter 12 Gr. Wasser und 18 Gr. Kohlensäure enthalten sind. Seidel hat dargethan, dass sobald nur so viel Luft durch die grössere Gasuhr gegangen ist, dass die Menge derselben fünf Mal den Inhalt der Kammer ausmacht, also in unserem Beispiel 320 Liter, der Fehler nur mehr $^1/_6$%, und bei sechsmaligem Durchgang, in dem gegebenen Fall nach 384 Liter, nur mehr $^1/_{20}$% beträgt.

Da bei dem kleinen Apparate die Menge der untersuchten Luft im Verhältniss zum Gesammtluftstrome viel grösser ist als bei dem Apparate von Pettenkofer, so muss hier auch die in den zwei Proben der untersuchten inneren Luft enthaltene und vom Thier abgegebene Wasser- und Kohlensäuremenge oder auch das Volum dieser Luftproben zu dem durch die grössere Gasuhr angegebenen Volum hinzu gerechnet werden.

Um einen Ueberblick über die Art der Berechnung der Resultate zu geben, setze ich das Protokoll eines an einer Katze angestellten Versuches hierher:

8. Juni 1875. (20.2° C.; Dauer des Versuchs 6 St. 3 M.)

| | |
|---|---|
| Gewicht des Thieres vor dem Versuch . . . . | 3001.3 Gr. |
| Gewicht des Thieres nach dem Versuch . . . | 2987.8 „ |
| Differenz: | —13.5 Gr. |

| | |
|---|---|
| Stand der grösseren Gasuhr nach dem Versuch | 16946.9 |
| Stand der grösseren Gasuhr vor dem Versuch | 5431.6 |
| Differenz: | 11515.3 |

corrigirte Luftmenge (1000 = 1007.4): 11600.5 Cubikcmtr.

| Nro. | Mengen d. untersuchten Luft | | Kohlensäurebestimmung | | | | | Wasserbestimmung. | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Barytwasser | | | Kohlensäure der untersuchten Luft | Kohlensäure in 1000 Liter Luft | Wasser in der unters. Luft | Wasser in 1000 Liter Luft |
| | abgelesen in Umgängen | corrigirt in Liter[1]) | Volum in Cubikcmtr. | Cubikcmtr. Oxalsäure für 25 Cubikcmtr. vorher | nachher | | | | |
| A I | 26.380 | 67.108 | a) 240<br>b) 50 | 33.8<br>33.8 | 29.8<br>33.5 | 0.03900 | 0.5811 | 0.7682 | 1.1447 |
| A II | 26.657 | 67.024 | a) 240<br>b) 50 | 33.8<br>33.8 | 29.8<br>33.5 | 0.03900 | 0.5819 | 0.7670 | 1.1444 |
| J I | 22.985 | 56.044 | a) 240<br>b) 50 | 72.4<br>33.8 | 61.8<br>33.5 | 0.10236 | 1.8264 | 0.6947 | 1.2395 |
| J II | 25.577 | 64 981 | a) 240<br>b) 50 | 72.4<br>33.8 | 60.3<br>33.7 | 0.11636 | 1.7907 | 0.8135 | 1.2519 |

| | Wasser | Kohlensäure |
|---|---|---|
| in 1000 Liter innerer Luft im Mittel . . . | 1.2457 | 1.8085 |
| in 1000 Liter äusserer Luft im Mittel . . | 1.1445 | 0.5815 |
| Differenz: | 0.1012 | 1.2270 |
| in 11600.5 Liter der grossen Gasuhr . . . | 11.74 | 14.23 |
| in 66.55 Liter in der Kammer u. im Rohr | 0.07 | 0.08 |
| in 121.02 Liter der 2 kl. inneren Gasuhren | 0.12 | 0.15 |
| Summe: | 11.93 | 14.46 |

Berechnung des Sauerstoffs:

| | | | |
|---|---|---|---|
| Anfangsgewicht: | 3001.3 | Endgewicht: | 2987.8 |
| Einnahmen: | 0 | Ausgaben: Harn | 0 |
| Summe: | 3001.3 | Wasser | 11.93 |
| | | Kohlensäure | 14.46 |
| | | Summe: | 3014.19 |
| | | | —3001.30 |
| | | Sauerstoff auf: | 12.89 |

(Verhältniss 100 : 81).

1) 1 Umgang von A I = 2.5439 Liter, A II = 2.5143 L., J I = 2.4383 L. J II = 2.5406 L.

## Controlversuche.

Ich habe schon öfter erwähnt, dass Controlversuche über den Grad der Genauigkeit der durch Respirationsapparate erhaltenen Resultate absolut nothwendig sind. Es ist nicht möglich bei so complicirten Apparaten von vornherein Alles so einzurichten, dass die Ergebnisse auf Sicherheit Anspruch machen können; man muss sich vorerst durch eigens darauf hin gerichtete Versuche überzeugen, ob der Apparat auch das leistet, was man von ihm voraussetzt. Es kann das Prinzip desselben ganz tadelfrei erscheinen, und doch können die gewonnenen Zahlen nicht der Wahrheit entsprechen, wenn man irgend etwas bei der Ausführung der Versuche übersehen hat. Man glaube ferner ja nicht, dass man im Besitze eines solchen Apparates alsbald Untersuchungen am Thiere anstellen darf, ohne sich durch eine Reihe von Vorversuchen tüchtig eingeübt zu haben. Alles dies erfährt man nur durch Controlversuche, welche darthun, wie weit in dem Apparate unter analogen Verhältnissen, unter denen darin ein Thier athmet, in bekannten Mengen entwickelte Kohlensäure oder Wasser wieder gefunden werden. So lange dies für einen Apparat der Art nicht erwiesen ist, zweifeln wir nach den von uns gemachten Erfahrungen mit vollem Rechte an den Angaben desselben.

Bevor der kleine Apparat seine jetzige Gestalt angenommen hatte, zu einer Zeit, als der Versuchsraum ansehnlich kleiner war und die Ventilation durch zwei in Glycerin gehende und mit der Hand in Bewegung versetzte grosse Saugcylinder besorgt wurde und viele Verbesserungen in der Methode der Untersuchung noch nicht eingeführt waren, wurden Controlbestimmungen mit kleinen sehr dicken und in einer Papierkapsel steckenden Stearinkerzen gemacht, in der Form wie man sie früher häufig als Nachtlichter gebrauchte. Ich erhielt damals bei Verbrennung von 4—8 Gr. Stearinsäure während 1—2 Stunden, welche 5—9 Gr. Wasser und 12—22 Gr. Kohlensäure geben sollten, die folgenden Fehler in Procent ausgedrückt:

| | Kohlensäure | Wasser | Sauerstoff |
|---|---|---|---|
| 1) | + 4.9 | + 2.7 | + 5.7 |
| 2) | — 1.5 | + 4.4 | + 0.7 |

| | Kohlensäure | Wasser | Sauerstoff |
|---|---|---|---|
| 3) | — 3.2 | — 0.7 | — 3.3 |
| 4) | — 7.9 | — 1.9 | — 8.4 |
| 5) | + 6.1 | + 8.1 | + 9.0 |
| 6) | — 5.2 | — 10.0 | — 9.1 |
| 7) | — 6.0 | — 1.2 | — 6.8 |
| 8) | + 2.0 | + 3.3 | + 2.9 |
| 9) | + 3.9 | + 2.4 | + 4.6. |

Die Resultate sind bei den damaligen noch ungünstigen Verhältnissen ganz leidliche.

Als der Apparat in seiner jetzigen Gestalt dastand und durch eine Anzahl von Versuchen an Thieren seine Brauchbarkeit dargethan war, musste wieder zu Controlversuchen geschritten werden. Es war unterdess die Erfahrung gemacht worden, dass zwar für die Controlbestimmungen der Kohlensäure Stearinkerzen vorzüglich brauchbar sind, dagegen nicht für die des Wassers und zwar wegen der unvollständigen Verbrennung der Stearinsäure. Es wurden daher die Controlversuche für die Kohlensäure und das Wasser nicht in ein und demselben Versuche ausgeführt, sondern die für die Kohlensäure durch Verbrennung von Olein und die für das Wasser durch Verdampfung von Wasser. An denselben betheiligte sich mein Assistent, der Privatdozent Dr. J. Forster.

Zu den Controlbestimmungen für die Kohlensäure diente als Kohlensäurequelle, wie gesagt, reines Olein, welches in einem kleinen Glasnäpfchen mit Hülfe eines in einen Schwimmer eingesteckten passenden Glascapillarröhrchens verbrannt wurde. Die Weite der Capillare und die Höhe derselben über dem Oelniveau wurde so gewählt, dass in der Stunde zwischen 3 und 4 Gr. Kohlensäure geliefert wurden, also etwa so viel als in gleicher Zeit von einem Kaninchen.

In fünf solchen Versuchen wurde erhalten:

a) 5. Juli 1875.

(Dauer des Versuches 5 St. 54 M.)

6.4916 Gr. Olein verbrannt = (bei 77.37% Kohlenstoff) 18.42 Gr. Kohlensäure.

| | |
|---|---|
| Stand der grösseren Gasuhr zu Ende des Versuchs | 16010.6 |
| Stand der grösseren Gasuhr zu Anfang des Versuchs | 5448.6 |
| Differenz: | 10562.0 |

corrigirte Luftmenge (1000 = 1007.4) : 10676.9 Cubikcmtr.

| Nro. | untersuchte Luft-Menge abgelesen in Umgängen | untersuchte Luft-Menge corrigirt in Liter[1]) | Kohlensäurebestimmung: Barytwasser Volum in Cubikcmtr | Barytwasser Cubikcmtr. Oxalsäure für 25 Cubikcmtr. vorher | Barytwasser Cubikcmtr. Oxalsäure für 25 Cubikcmtr. nachher | Kohlensäure in der untersuchten Luft | Kohlensäure in 1000 Liter Luft |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A I | 24.345 | 61.931 | a) 240<br>b) 50 | 33.7<br>33.7 | 30.0<br>33.5 | 0.03592 | 0.5800 |
| A II | 25.462 | 64.019 | a) 240<br>b) 50 | 33.7<br>33.7 | 29.75<br>33.4 | 0.03852 | 0.6017 |
| J I | 20.368 | 49.663 | a) 240<br>b) 50 | 71.9<br>33.7 | 59.8<br>33.3 | 0.11696 | 2.3550 |
| J II | 23.369 | 59.371 | a) 240<br>b) 50 | 71.9<br>33.7 | 57.7<br>33.3 | 0.13712 | 2.3095 |

in 1000 Liter innerer Luft im Mittel: 2.3322 Gr. Kohlensäure
in 1000 Liter äusserer Luft im Mittel: 0.5908 „ „

Differenz: 1.7414 Gr. Kohlensäure

in 10676.9 Liter Luft der grösseren Gasuhr: 18.59 Gr. Kohlensäure
in 66.55 Liter Luft in d. Kammer u. im Rohr: 0.11 „ „
in 107.9 Liter Luft in d. kl. inneren Gasuhren: 0.19 „ „

Summe: 18.89 Gr. Kohlensäure
= + 2.5%.

b) 8. Juli 1875.

(Dauer des Versuchs 6 St. 32 M.)

8.0250 Gr. Olein verbrannt = 22.77 Gr. Kohlensäure.

Stand der grösseren Gasuhr zu Ende des Versuchs: 14196.8
Stand der grösseren Gasuhr zu Anfang des Versuchs: 5164.4

Differenz: 9032.4

1) 1 Umgang von A I = 2.5439 Liter, A II = 2.5143 L., J I = 2.4383 L., J II = 2.5406 L.

corrigirte Luftmenge (1000 = 1026.5): 9271.7 Cubikcmtr.

| Nro. | untersuchte Luft-Menge | | Kohlensäurebestimmung | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Barytwasser | | | | |
| | abgelesen in Umgängen | corrigirt in Liter | Volum in Cubikcmtr | Cubikcmtr. Oxalsäure für 25 Cubikcmtr. vorher | nachher | Kohlensäure in der untersuchten Luft | Kohlensäure in 1000 Liter Luft |
| A I | 20.430 | 51.973 | a) 240<br>b) 50 | 33.7<br>33.7 | 29.4<br>33.3 | 0.04208 | 0.8097 |
| A II | 21.312 | 53.586 | a) 240<br>b) 50 | 33.7<br>33.7 | 29.2<br>33.4 | 0.04380 | 0.8174 |
| J I | 18.148 | 44.251 | a) 240<br>b) 50 | 71.9<br>33.7 | 57.1<br>33.6 | 0.14228 | 3.2153 |
| J II | 20.559 | 52.231 | a) 240<br>b) 50 | 71.9<br>33.7 | 54.4<br>33.4 | 0.16860 | 3.2280 |

in 1000 Liter innerer Luft im Mittel: 3.2216 Gr. Kohlensäure
in 1000 Liter äusserer Luft im Mittel: 0.8135 „ „

Differenz: 2.4081 Gr. Kohlensäure

in 9271.7 Liter Luft der grösseren Gasuhr: 22.33 Gr. Kohlensäure
in 66.55 Liter Luft in d. Kammer u. im Rohr: 0.15 „ „
in 96.48 Liter Luft in d. kl. inneren Gasuhren: 0.23 „ „

Summe: 22.71 Gr. Kohlensäure
= − 0.3 %.

c) 9. Juli 1875.

(Dauer des Versuchs 6 St. 29 M.)

10.532 Gr. Olein verbrannt = 29.88 Gr. Kohlensäure.

Stand der grösseren Gasuhr zu Ende des Versuchs: 13918.2
Stand der grösseren Gasuhr zu Anfang des Versuchs: 4357.8

Differenz: 9560.4

corrigirte Luftmenge (1000 = 1026.5): 9813.7 Cubikcmtr.

| Nr. | untersuchte Luftmenge | | Kohlensäurebestimmung | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Barytwasser | | | | |
| | abgelesen in Umgängen | corrigirt in Liter | Volum in in Kubik-Cmtr. | Kub.-C. Oxalsäure f. 25 Kubikcmtr. vorher | Kub.-C. Oxalsäure f. 25 Kubikcmtr. nachher | Kohlensäure in der untersuchten Luft | Kohlensäure in 1000 Liter Luft. |
| A I | 20.835 | 53 004 | a) 240<br>b) 50 | 33.7<br>33.7 | 30.0<br>33.4 | 0.03612 | 0.6814 |
| A II | 23.311 | 58.612 | a) 240<br>b) 50 | 33.7<br>33.7 | 29.7<br>33.4 | 0.03900 | 0.6654 |
| J I | 18.702 | 45.601 | a) 240<br>b) 50 | 71.9<br>33.7 | 54.5<br>33.3 | 0.16784 | 3.6806 |
| J II | 20.533 | 52.166 | a) 240<br>b) 50 | 71.9<br>33.7 | 51.3<br>33.3 | 0.19856 | 3.8063 |

in 1000 Liter innerer Luft im Mittel: 3.7434 Gr. Kohlensäure
in 1000 Liter äusserer Luft im Mittel: 0.6734 „ „

Differenz: 3.0700 Gr. Kohlensäure

in 9813.7 Liter Luft d. grösseren Gasuhr: 30.13 Gr. Kohlensäure
in 66.55 Liter Luft in d. Kammer u. im Rohr: 0.20 „ „
in 97.80 Liter Luft in d. kl. inneren Gasuhren: 0.30 „ „

Summe: 30.63 Gr. Kohlensäure
= + 2.5%.

d) 2. August 1875.

(Dauer des Versuchs 5 St. 27 M.)

10.0666 Gr. Olein verbrannt = 28.556 Gr. Kohlensäure.
Stand der grösseren Gasuhr zu Ende des Versuchs: 17760.6
Stand der grösseren Gasuhr zu Anfang des Versuchs: 6100.2

Differenz: 11660.4

corrigirte Luftmenge (1000 = 1009.2): 11767.7 Cubikcmtr.

| Nro. | untersuchte Luftmenge | | Kohlensäurebestimmung | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Barytwasser | | | Kohlensäure in der untersuchten Luft | Kohlensäure in 1000 Liter Luft. |
| | abgelesen in Umgängen | corrigirt in Liter | Volum in Kubik-Cmtr. | Kub.-C. Oxalsäure f. 25 Kubikcmtr. vorher | nachher | | |
| A I | 27.700 | 70.469 | a) 240<br>b) 50 | 27.7<br>27.7 | 27.9<br>27.2 | 0.04708 | 0.6681 |
| A II | 27.884 | 70.110 | a) 240<br>b) 50 | 27.7<br>27.7 | 22.9<br>27.3 | 0.04688 | 0.6687 |
| J I | 21.223 | 50.455 | a) 240<br>b) 50 | 72.7<br>27.7 | 56.2<br>27.5 | 0.15880 | 3.1474 |
| J II | 26.277 | 66.759 | a) 240<br>b) 50 | 72.7<br>27.7 | 51.6<br>27.3 | 0.20336 | 3.0463 |

in 1000 Liter innerer Luft im Mittel: 3.0969 Gr. Kohlensäure
in 1000 Liter äusserer Luft im Mittel: 0.6684 „ „

Differenz: 2.4285 Gr. Kohlensäure

in 11767.7 Liter Luft der grösseren Gasuhr: 28.58 Gr. Kohlensäure
in 66.55 Liter Luft in d. Kammer u. im Rohr: 0.16 „ „
in 117.20 Liter Luft in d. kl. inneren Gasuhren: 0.28 „ „

Summe: 29.02 Gr. Kohlensäure
$= + 1.6\%$.

e) 3. August 1875.

(Dauer des Versuchs 6 St. 19 M.)

7.6666 Gr. Olein verbrannt = 21.75 Gr. Kohlensäure.

Stand der grösseren Gasuhr zu Ende des Versuchs: 18996.3
Stand der grösseren Gasuhr zu Anfang des Versuchs: 7761.6

Differenz: 11234.7

corrigirte Luftmenge (1000 = 1009.2): 11338.0 Kubikcmtr.

| Nro. | untersuchte Luftmenge | | Kohlensäurebestimmung | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Barytwasser | | | | |
| | abgelesen in Umgängen | corrigirt in Liter. | Volum in Cubik-Cmtr. | Cub.-C. Oxalsäure f. 25 Cubikcmtr. vorher | Cub.-C. Oxalsäure f. 25 Cubikcmtr. nachher | Kohlensäure in der untersuchten Luft | Kohlensäure in 1000 Liter Luft. |
| A I | 26.994 | 68.670 | a) 240<br>b) 50 | 27.7<br>27.7 | 23.4<br>27.25 | 0.04215 | 0.6142 |
| A II | 26.456 | 66.541 | a) 240<br>b) 50 | 27.7<br>27.7 | 23 06<br>27.10 | 0.04574 | 0.6874 |
| J I | 21.799 | 51.824 | a) 240<br>b) 50 | 72.7<br>27.7 | 58.7<br>27.3 | 0.13520 | 2.5427 |
| J II | 25.684 | 65.253 | a) 240<br>b) 50 | 72.7<br>27.7 | 55.5<br>27.3 | 0.16592 | 2 6089 |

in 1000 Liter innerer Luft im Mittel: 2.5758 Gr. Kohlensäure
in 1000 Liter äusserer Luft im Mittel: 0.6508 „ „

Differenz: 1.9250 Gr. Kohlensäure

in 11338.0 Liter Luft d. grösseren Gasuhr: 21.82 Gr. Kohlensäure
in 66.55 Liter Luft in d. Kammer u. im Rohr: 0.13 „ „
in 117.10 Liter Luft in d. kl. inneren Gasuhren: 0.23 „ „

Summe: 22.18 Gr. Kohlensäure
$= + 1.9\,^0/_0$.

Für die Wassercontrolbestimmungen wurde ähnlich wie bei den betreffenden Versuchen am grossen Apparate Wasser aus einer Retorte verdampft. Zu dem Zwecke wurde die vordere Glasscheibe der Kammer fortgenommen und durch eine Zinkplatte ersetzt. Dieselbe hat nahe dem unteren Rande eine kreisrunde Oeffnung, an welche ein kurzer Blechstutzen angelöthet ist; eine dicht schliessende Kautschukkappe verbindet diesen Stutzen mit dem in das Innere des Kastens hinein ragenden Halse der Retorte. Die Retorte wird durch einen Schlangenbrenner mit sehr kleinen Flammen erwärmt, so dass in Zeit von einer Stunde nur etwa 2 Gr. verdunsten; es wurde vorher ausprobirt, wie weit man bei einer bestimmten Füllung der Retore den Gashahn aufdrehen musste, um eben eine solche Grösse der Wasserverdampfung zu erreichen. Die Menge

des aus der Retorte verdunsteten Wassers wurde durch Wiegung der durch einen Stopfen verschlossenen Retorte vor und nach dem Versuche festgestellt.

Ich theile in Folgendem die Resultate von drei Versuchen der Art mit:

a) 22. Januar 1875.

(Dauer des Versuchs 5 St. 47 M.)

Wasser verdampft : 10.70 Gr.

Stand der grösseren Gasuhr zu Ende des Versuchs: 12705.0
Stand der grösseren Gasuhr zu Anfang des Versuchs: 1812.5

Differenz: 10892.5

corrigirte Luftmenge (1000 = 986.3): 10743.3 Cubikcmtr.

| Nr. | untersuchte Luftmenge | | Wasserbestimmung | |
|---|---|---|---|---|
| | abgelesen in Umgängen | corrigirt in Liter[1]) | in der untersuchten Luft | in 1000 Liter Luft |
| A I | 28.824 | 73.611 | 0.44644 | 6.0648 |
| A II | 27.705 | 70.226 | 0.42746 | 6.0869 |
| J I | 26.123 | 64.325 | 0.40759 | 7.1142 |

in 1000 Liter innerer Luft im Mittel: 7.1142 Gr. Wasser
in 1000 Liter äusserer Luft im Mittel: 6.0758 „ „

Differenz: 1.0384 Gr. Wasser

in 10743.3 Liter Luft der grösseren Gasuhr: 11.15 Gr. Wasser
in 66.55 Liter Luft in d. Kammer u. im Rohr: 0.07 „ „
in 64.32 Liter Luft in d. kleinen inneren Gasuhr: 0.07 „ „ .

Summe: 11.29 Gr. Wasser
= + 5.5%.

b) 27. Januar 1875.

(Dauer des Versuchs 5 St. 18 M.)

Wasser verdampft: 12.95 Gr.

Stand der grösseren Gasuhr zu Ende des Versuchs: 12011.9
Stand der grösseren Gasuhr zu Anfang des Versuchs: 2723.5

Differenz: 9288.4

1) 1 Umgang von A I = 2.5538; von A II = 2.5348; von J I = 2.4622.

corrigirte Luftmenge (1000 = 986.3): 9161.14 Kubikcmtr.

| Nr. | untersuchte Luftmenge | | Wasserbestimmung | |
|---|---|---|---|---|
| | abgelesen in Umgängen | corrigirt in Liter | in der untersuchten Luft | in 1000 Liter Luft |
| A I | 24.464 | 62.476 | 0.33039 | 5.2882 |
| A II | 23.415 | 59.352 | 0.31643 | 5.3314 |
| J I | 21.856 | 53.814 | 0.36131 | 6.7140 |
| J II | 24.036 | 60.929 | 0.41046 | 6.7367 |

in 1000 Liter innerer Luft im Mittel: 6.7253 Gr. Wasser
in 1000 Liter äusserer Luft im Mittel: 5.3098 „ „

Differenz: 1.4145 Gr. Wasser

in 9161.14 Liter Luft der grösseren Gasuhr: 12.97 Gr. Wasser
in 66.55 Liter Luft in d. Kammer u. im Rohr: 0.09 „ „
in 114.74 Liter Luft d. kleinen inneren Gasuhren: 0.16 „ „

Summe: 13.13 Gr. Wasser
= + 1.4 %.

c) 29. Januar 1875.

(Dauer des Versuchs 5 St. 37 M.)

Wasser verdampft: 16.75 Gr.

Stand der grösseren Gasuhr zu Ende des Versuchs: 13002.0
Stand der grösseren Gasuhr zu Anfang des Versuchs: 2603.4

Differenz: 10398.6

corrigirte Luftmenge (1000 = 986.3): 10256.3 Cubikcmtr.

| Nr. | untersuchte Luftmenge | | Wasserbestimmung | |
|---|---|---|---|---|
| | abgelesen in Umgängen | corrigirt in Liter. | in der untersuchten Luft | in 1000 Liter Luft |
| A I | 27.448 | 70.097 | 0.39268 | 5.6019 |
| A II | 26.117 | 66.201 | 0.37339 | 5.6102 |
| J I | 24.218 | 59.763 | 0.43286 | 7.2502 |
| J II | 26.927 | 68.257 | 0.49535 | 7.2571 |

in 1000 Liter innerer Luft im Mittel: 7.2536 Gr. Wasser
in 1000 Liter äusserer Luft im Mittel: 5.6211 „ „

Differenz: 1.6325 Gr. Wasser

in 10256.3 Liter Luft der grösseren Gasuhr: 16.74 Gr. Wasser
in 66.55 Liter Luft in d. Kammer u. im Rohr: 0.10 „ „
in 127.96 Liter Luft d. kleinen inneren Gasuhren: 0.21 „ „

Summe: 17.05 Gr. Wasser
= + 1.8%

Zur leichteren Uebersicht stelle ich die Resultate der Controlversuche nochmals zusammen. Es wurde dabei erhalten:

Controlversuche für Kohlensäure:

| Nro. | Kohlensäure entwickelt | Kohlensäure erhalten | Differenz absolut | Differenz in Prozent |
|---|---|---|---|---|
| a. | 18.42 | 18.89 | + 0.47 | + 2.5 |
| b. | 22.77 | 22.71 | — 0.06 | — 0.3 |
| c. | 29.88 | 30.63 | + 0.75 | + 2.5 |
| d. | 28.56 | 29.02 | + 0.46 | + 1.6 |
| e. | 21.75 | 22.18 | + 0.43 | + 1.9 |

Controlversuche für Wasser:

| Nro. | Wasser verdampft | Wasser erhalten | Differenz absolut | Differenz in Prozent |
|---|---|---|---|---|
| a. | 10.70 | 11.29 | + 0.59 | + 5.5[1]) |
| b. | 12.95 | 13.13 | + 0.18 | + 1.4 |
| c. | 16.75 | 17.05 | + 0.30 | + 1.8 |

1) Dieser Versuch gibt ein etwas zu hohes Resultat, da vor Beginn desselben noch nicht genügend ventilirt worden war und in den Leitungen sich etwas Wasser von dem vorausgehenden Versuche befand.

Nach diesen Resultaten erreicht man mit dem kleinen Respirationsapparate für das Wasser und die Kohlensäure eine Genauigkeit von 1—2°/₀, ähnlich wie mit dem Pettenkofer'schen Apparate. Man könnte es auffallend finden, dass bei den kleineren Dimensionen des ersteren die Uebereinstimmung nicht eine grössere ist, besonders da ein ungleich grösserer Bruchtheil der Luft dabei auf die Bestandtheile untersucht wird. Dies rührt daher, dass hier eine wesentlich geringere Menge von Wasser und Kohlensäure zu suchen ist und desshalb wohl absolut ein ungleich genaueres Resultat erhalten wird, aber nicht prozentig. Es lassen sich eben gewisse Fehler nicht vermeiden, und diese machen dann bei kleinen absoluten Mengen einen grösseren Bruchtheil aus, als bei grösseren.

Es ist dadurch erwiesen, dass mit dem kleinen Apparate Untersuchungen des Gaswechsels bei kleineren Thieren angestellt werden können. Es wäre nur zu wünschen, dass auch Andere die von ihnen angewandten Hülfsmittel einer ähnlichen Controle unterziehen würden; ich bin überzeugt, sie würden zum Theil erstaunt sein über die Angaben derselben. —

---

A a B 22 87 C 15 25 40 65 90 D 11 30 50 70 87 E 8 26 45 63 80 F 10 20 32 44 65 81 G 10 35

Indigblau ————

Indigblauschwefelsaure ..........

und -·-·-·-

Scala für die Absorptionsverhältnisse des Indigblau (in Millionteln) ——

62 60 58 56 54 52 50 48 46 44 42 40 38 36 34 32 30 28 26

Zehntausendtheile ..........

14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0,17

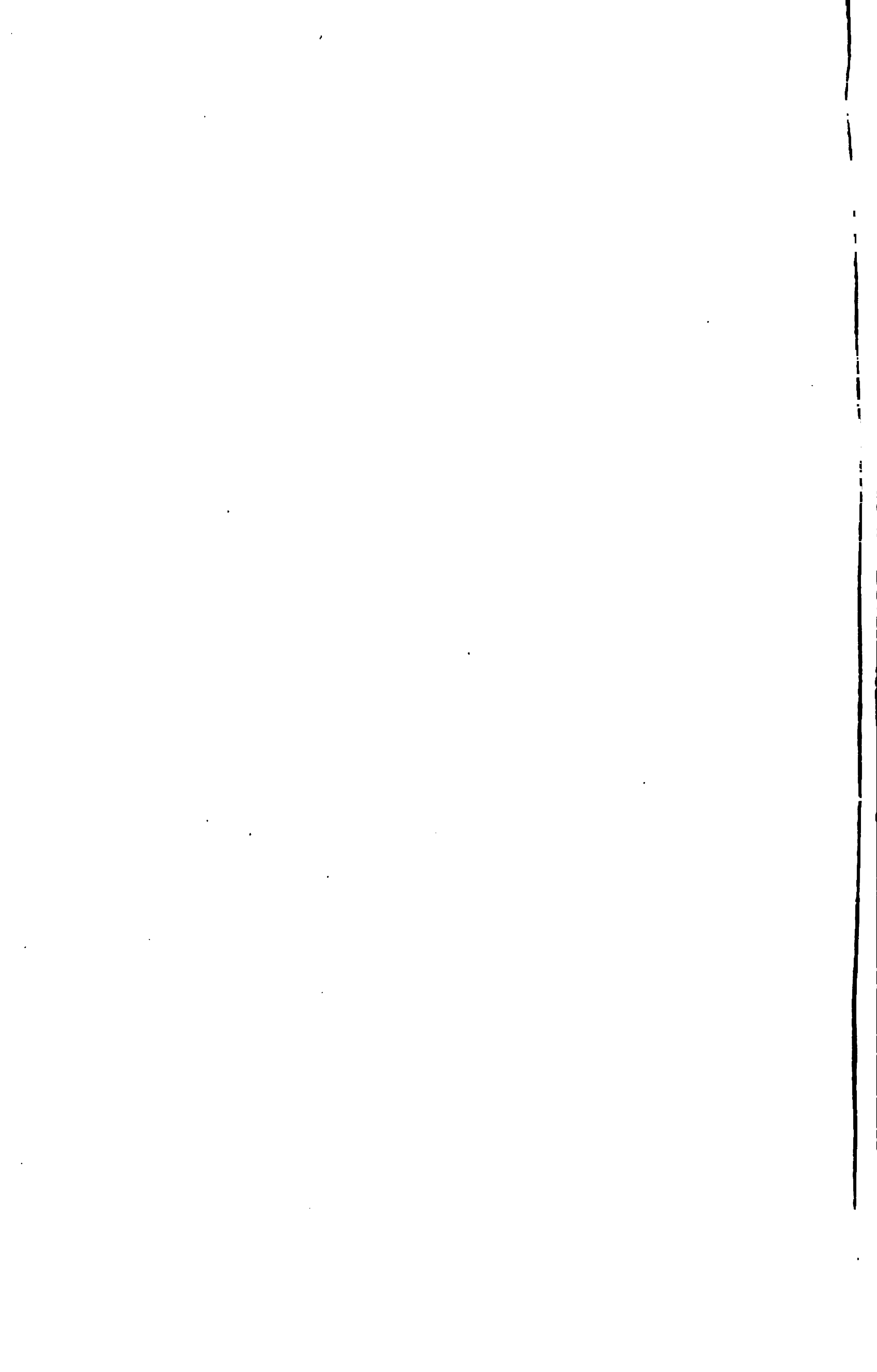
Hunderttausendtheile -·-·-·-

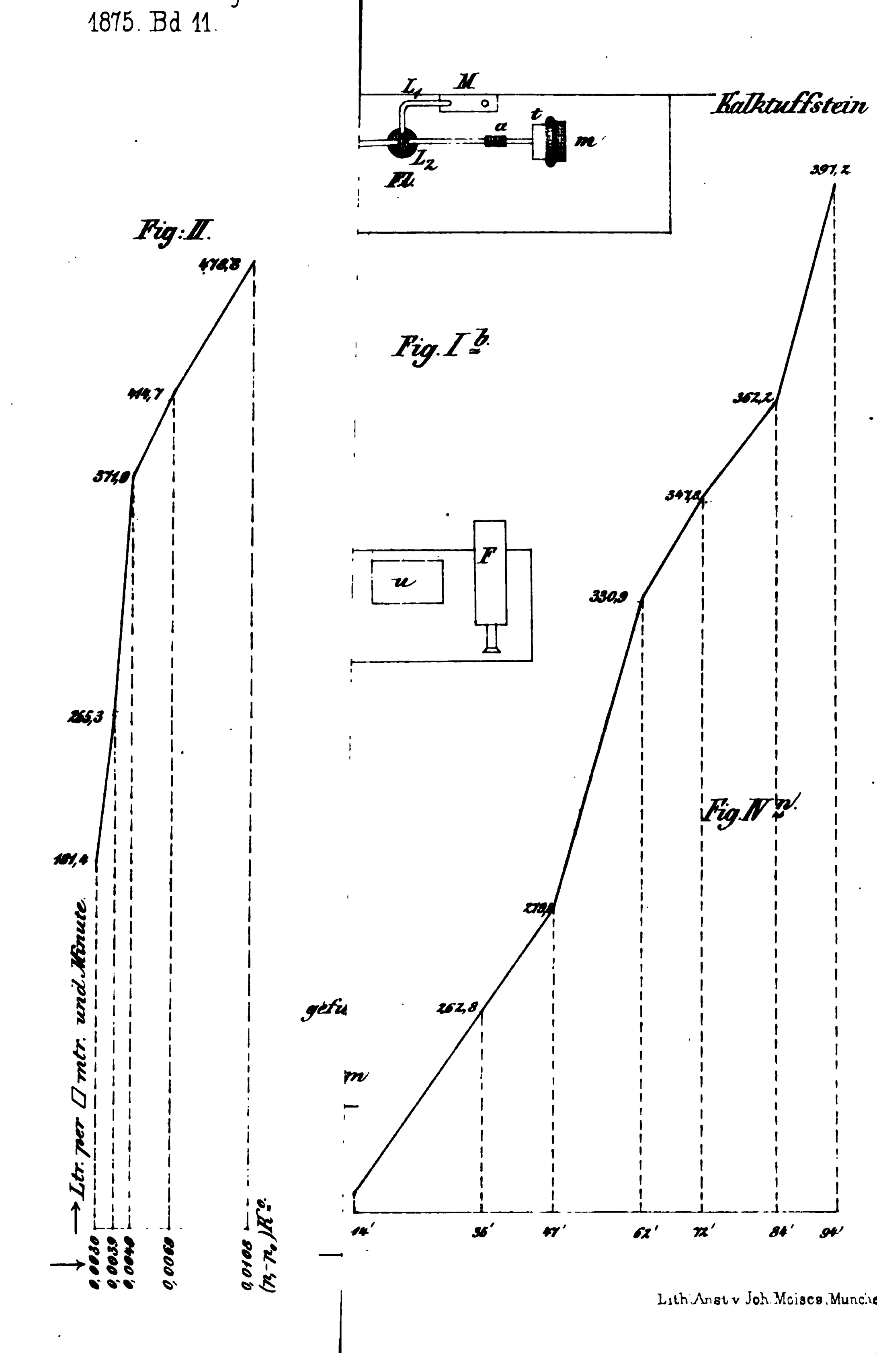
Scalen für die Absorptionsverhältnisse der Indigblauschwefelsaure

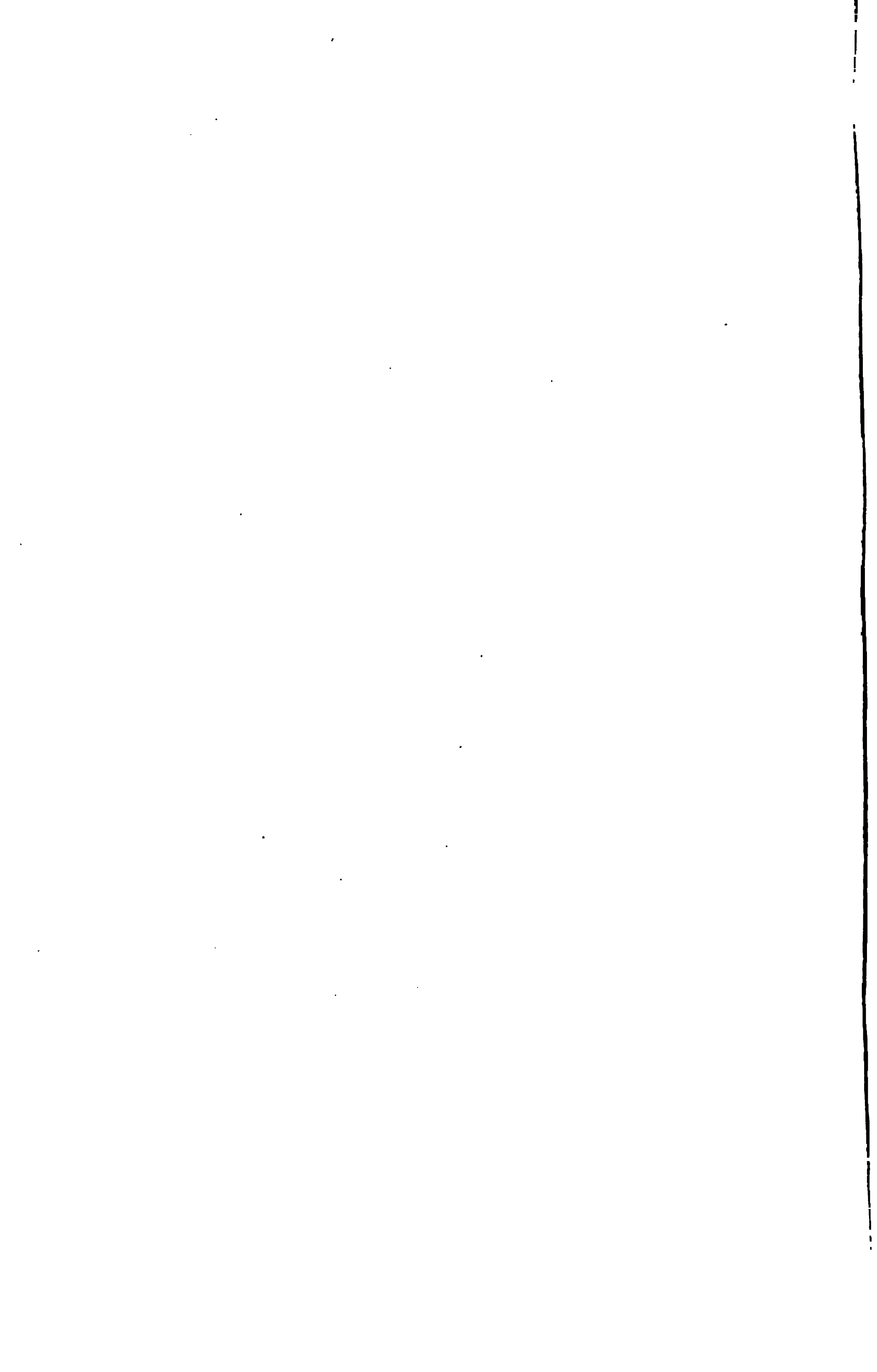
14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1,7

A a B 22 87 C 15 25 40 65 90 D 11 30 50 70 87 E 8 26 45 63 80 F 10 20 32 44 65 87 G 10 35

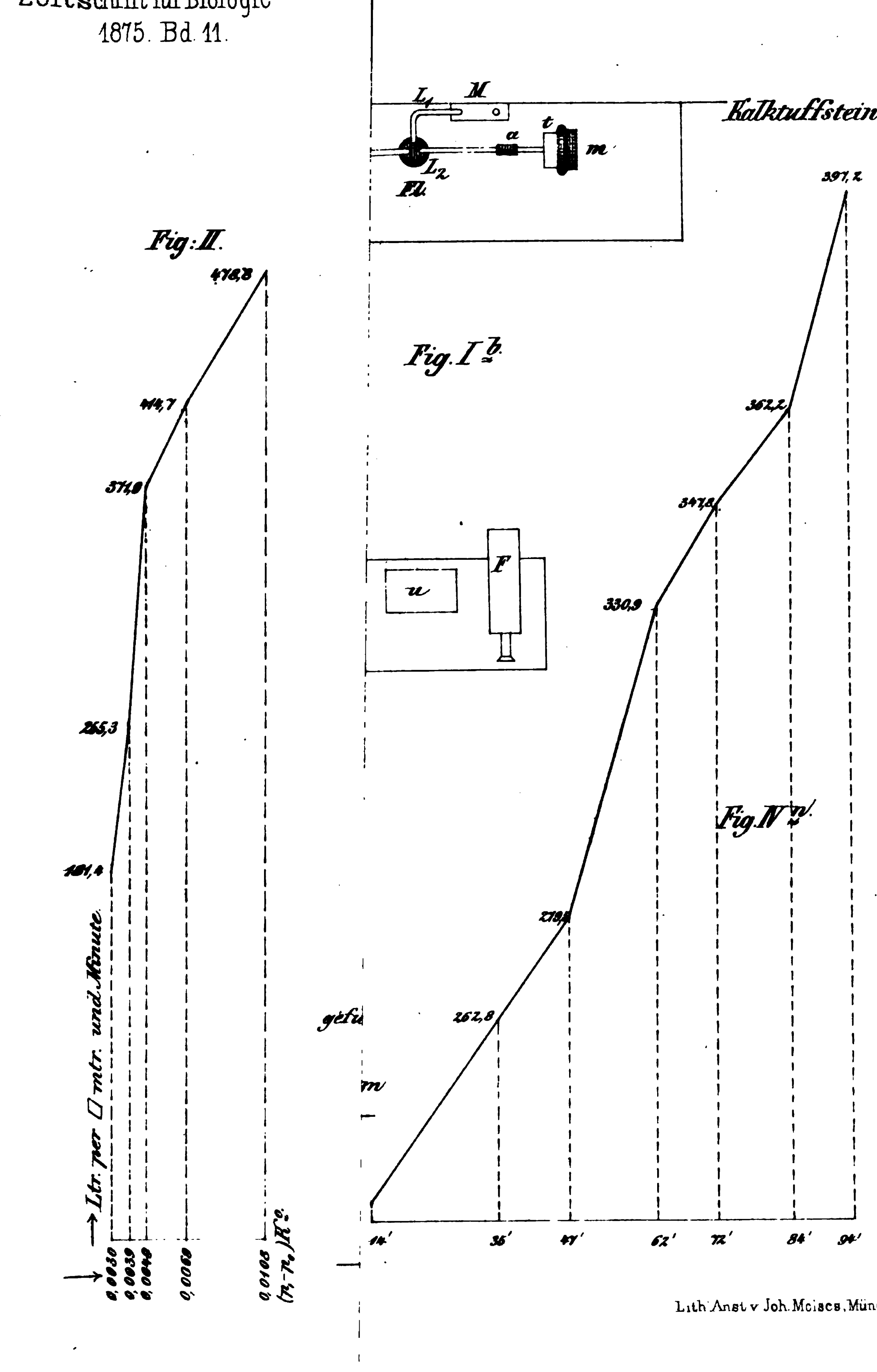
760 730 700 670 640 610 580 550 520 490 460 430



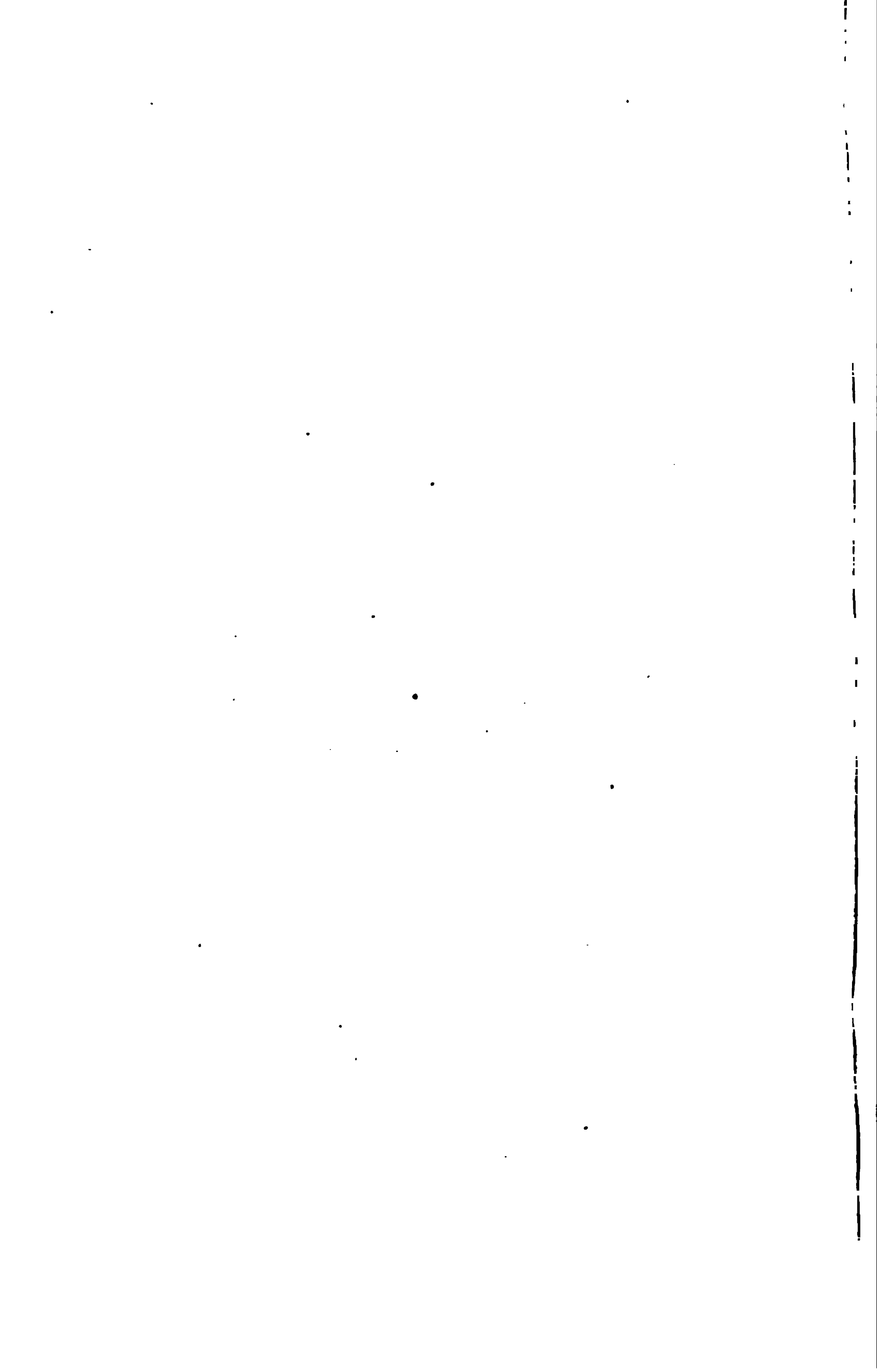

Kalktuffstein
Fig: II.
Fig. I b.
Fig. IV n.
Ltr. per □ mtr. und Minute
Lith. Anst v. Joh. Moises, Münche



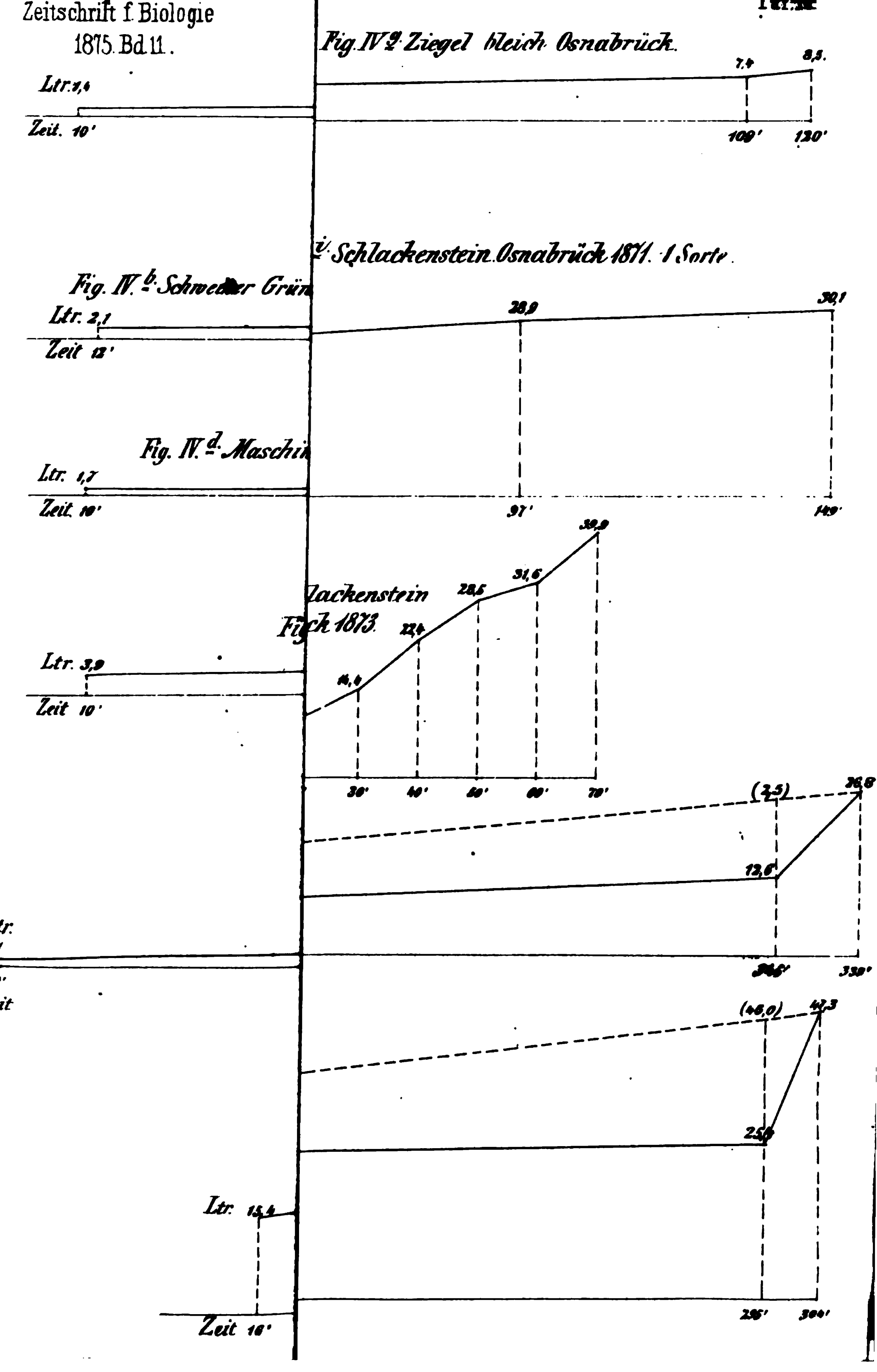
Zeitschrift für Biologie
1875. Bd. 11.

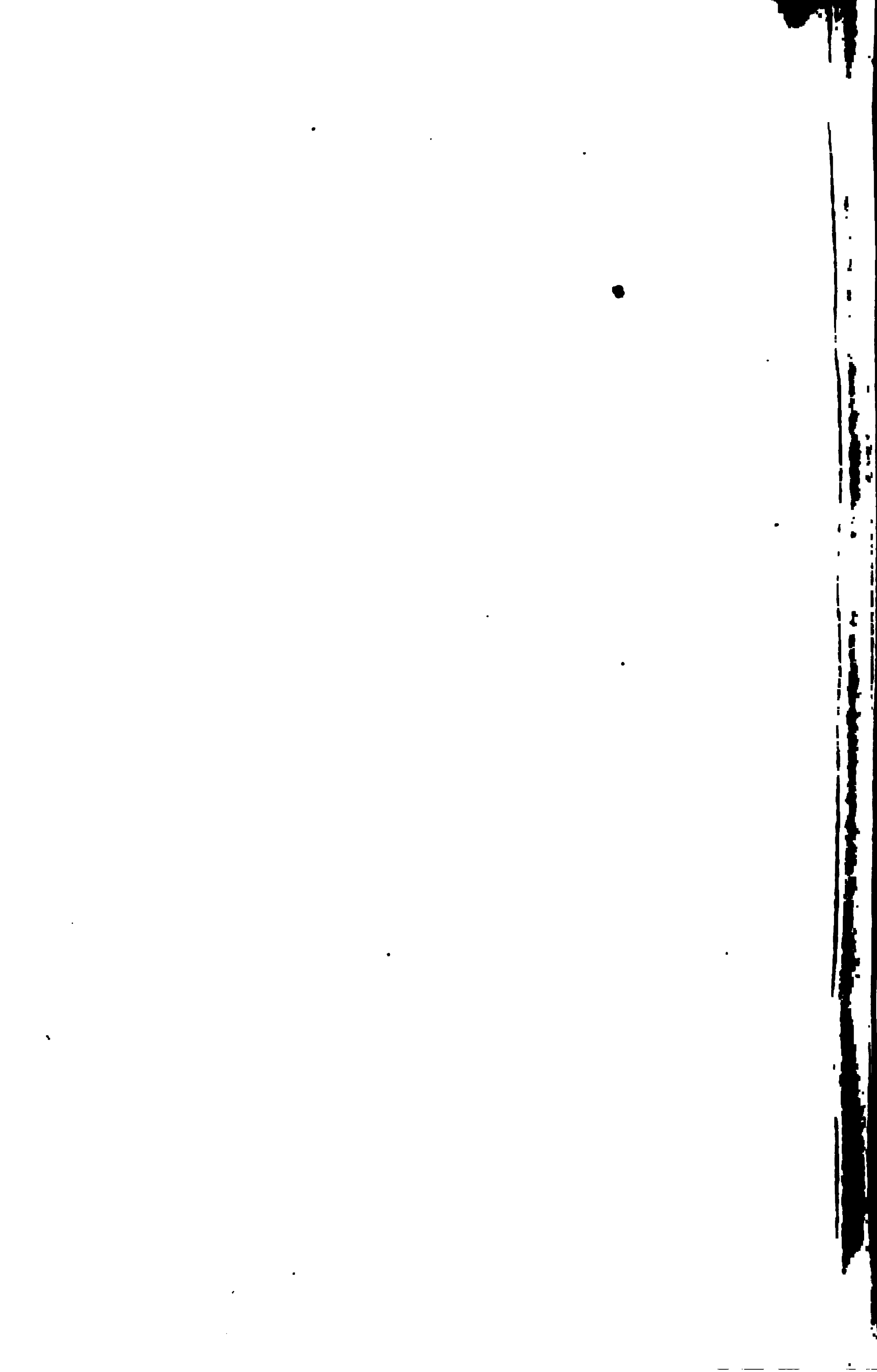



Lith. Anst. v. Joh. Moises, Mün



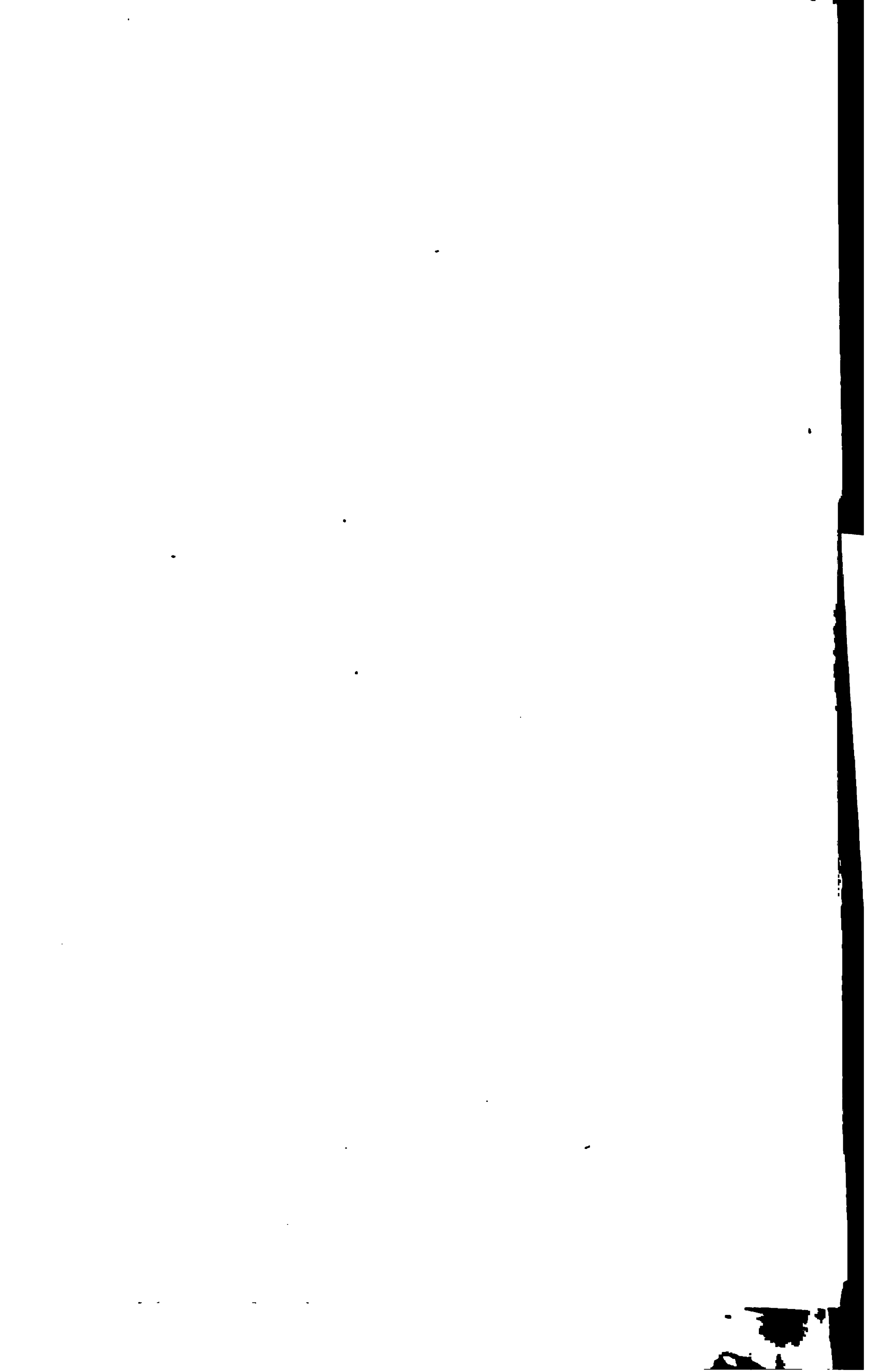
Zeitschrift f. Biologie
1875. Bd 11.



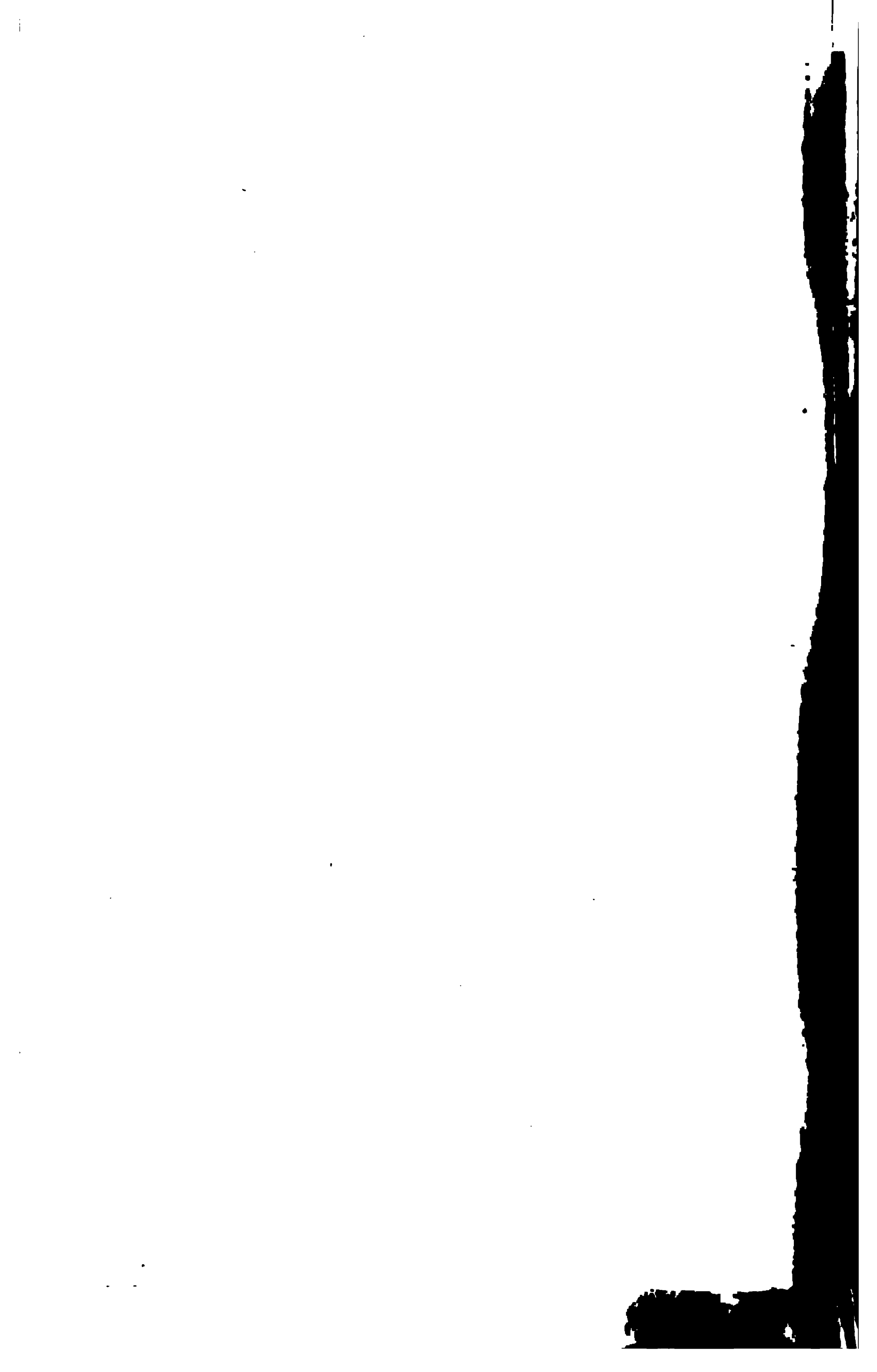


...ufgesogenen Wassers, ...
..., Meijer & Wittin...

| 10. | 12. |
|---|---|
| ...ufnahme ...ramm Was- ...r 1000 Cubik- ...etern Stein- oder ...tät pr. mille. 1000 : Col. 1. | Capillarisch... gesogenes W... per mille C... meter Stei... Zeiten der... Col. 5 x 100... |
| 10, 4 | 0... |
| 10, 6 | 14,... |

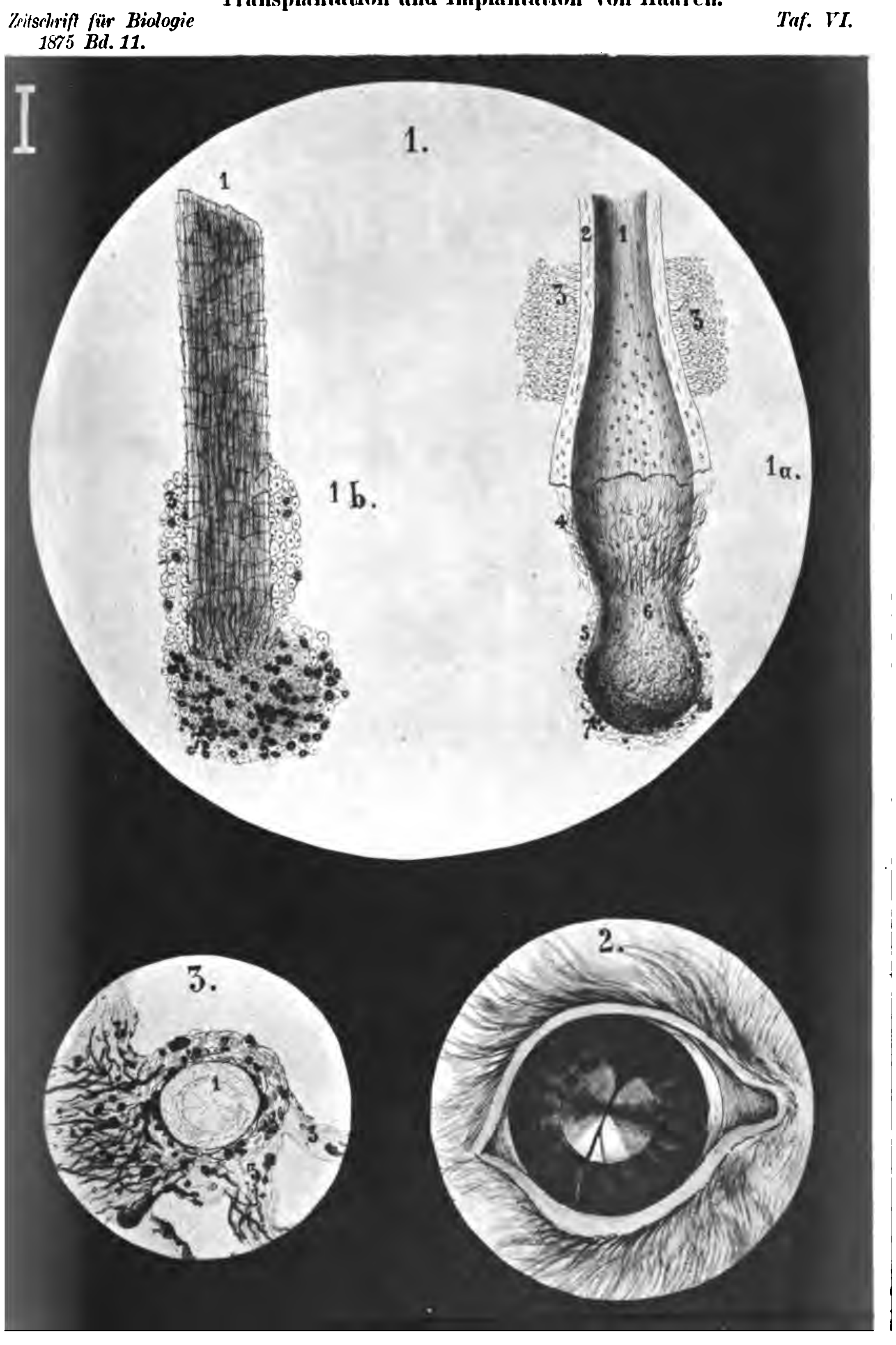


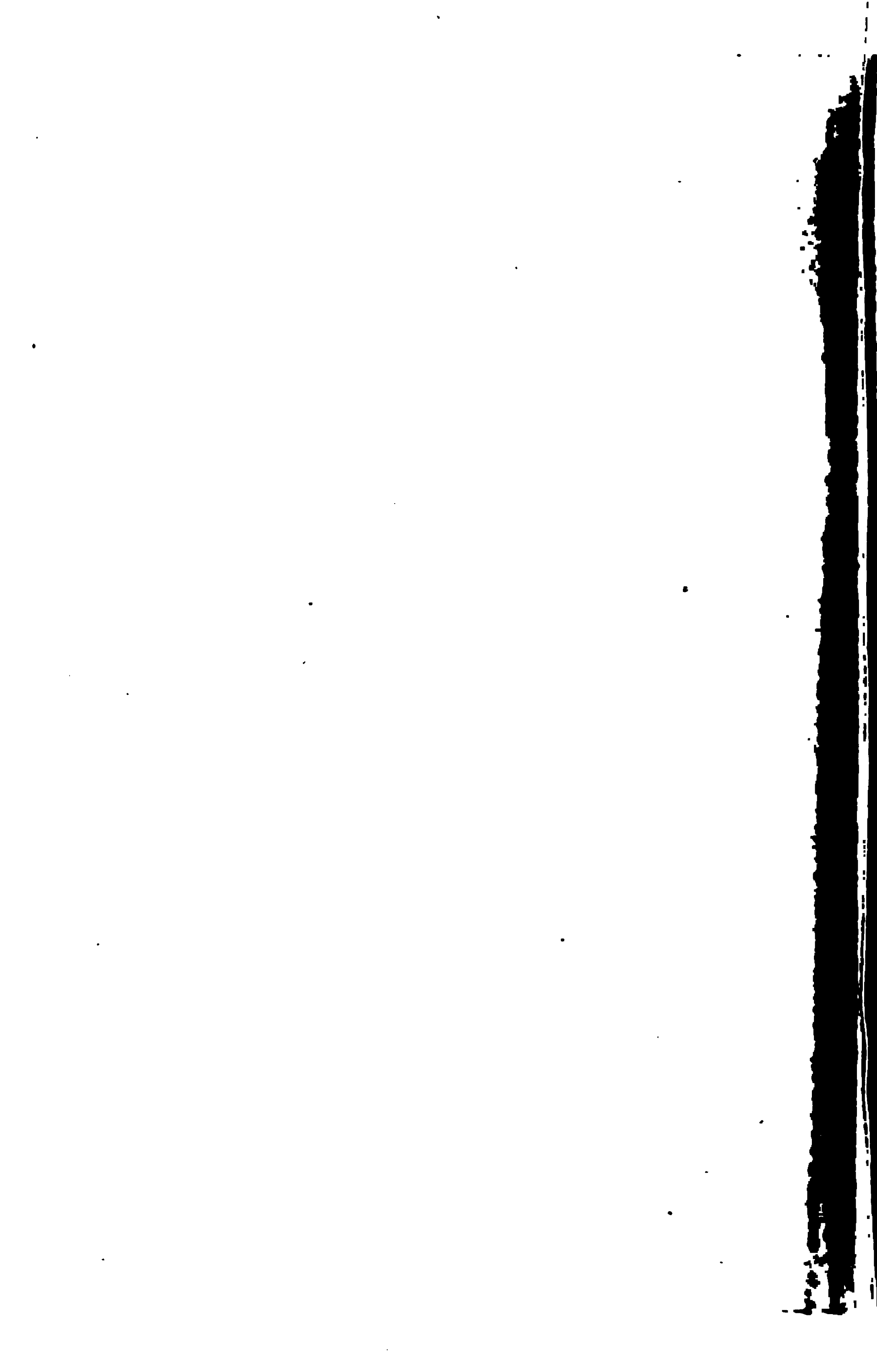
| …er, bei …ieg. | | | Gewic… Wa… |
|---|---|---|---|
| … | 24/3. 1874. | 25/3. 1874. | 20/3. 1874. |
| … | 9 Morg. | 9 Morg. | 6 Nachm. |
| | 168 | 192 | 81 |
| …) | | | |
| | | | 2<br>2355 |



Zeitschrift für Biologie
1875 Bd. 11.





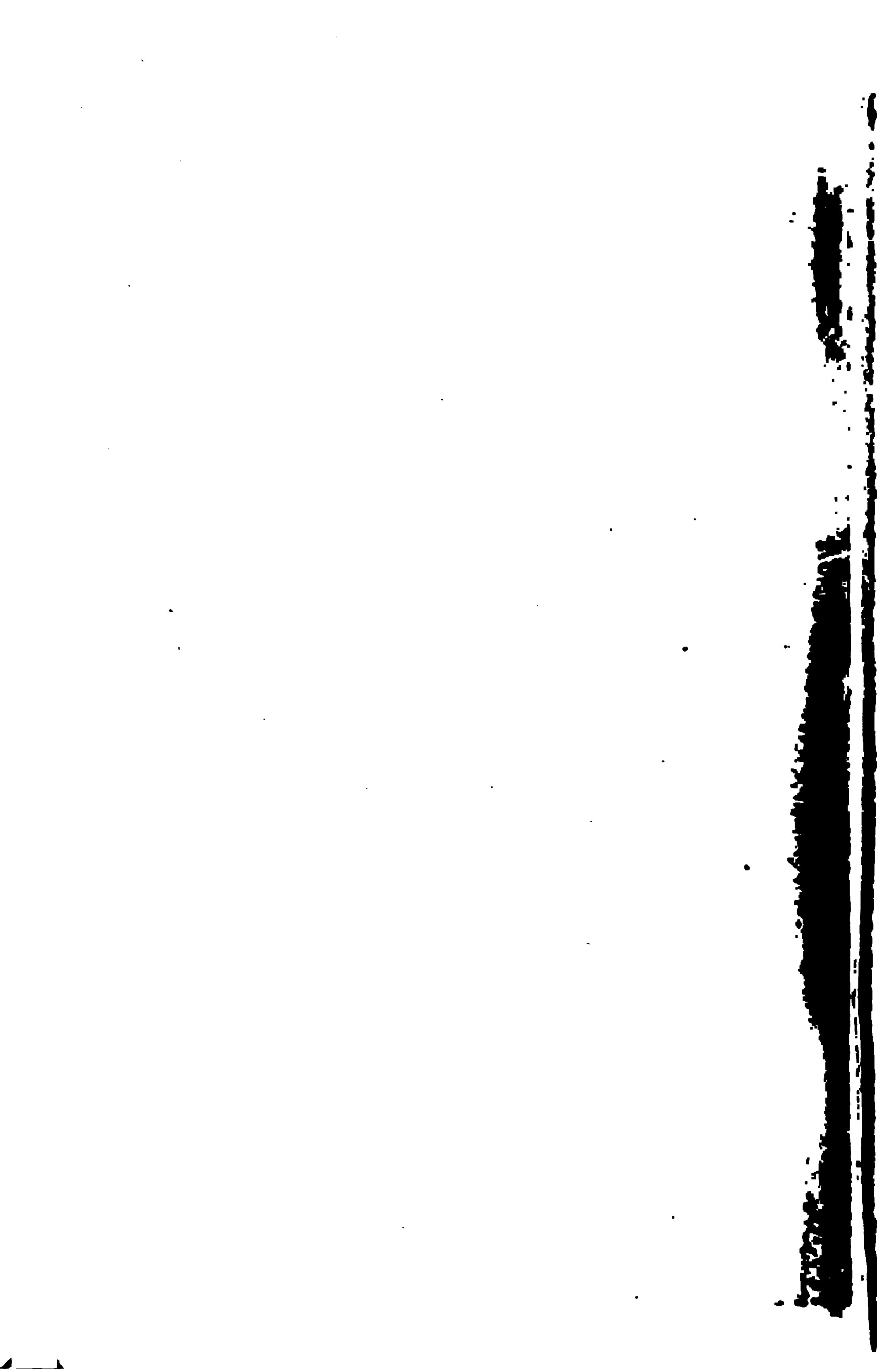


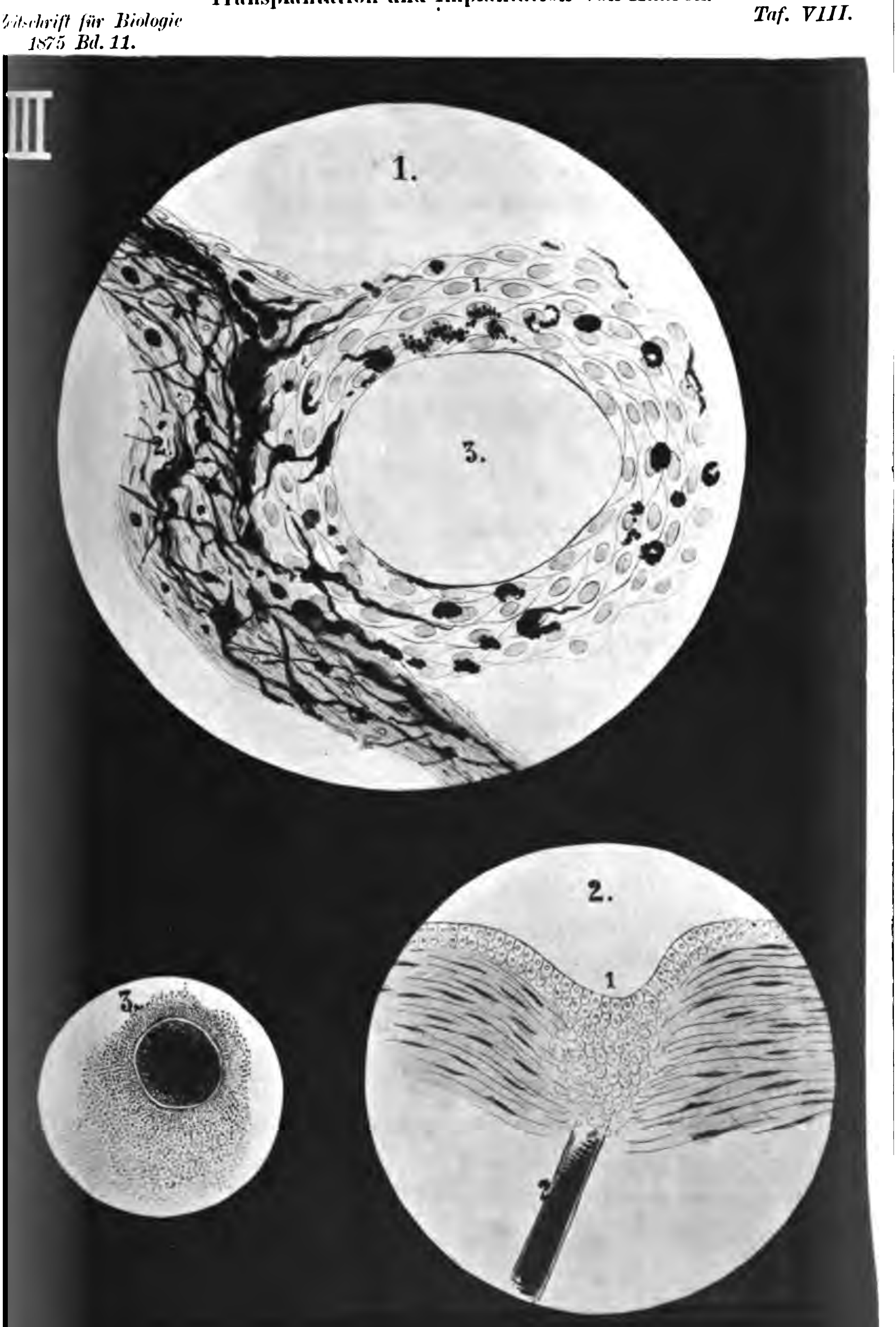
II

1.

8
7
5
3
3a.
2
1






III
1.
1.
2.
3.
2.
1
3.

Ty

b.

Taf. 9.

hu

| Aug | | Mai | Juni | Juli |
|---|---|---|---|---|

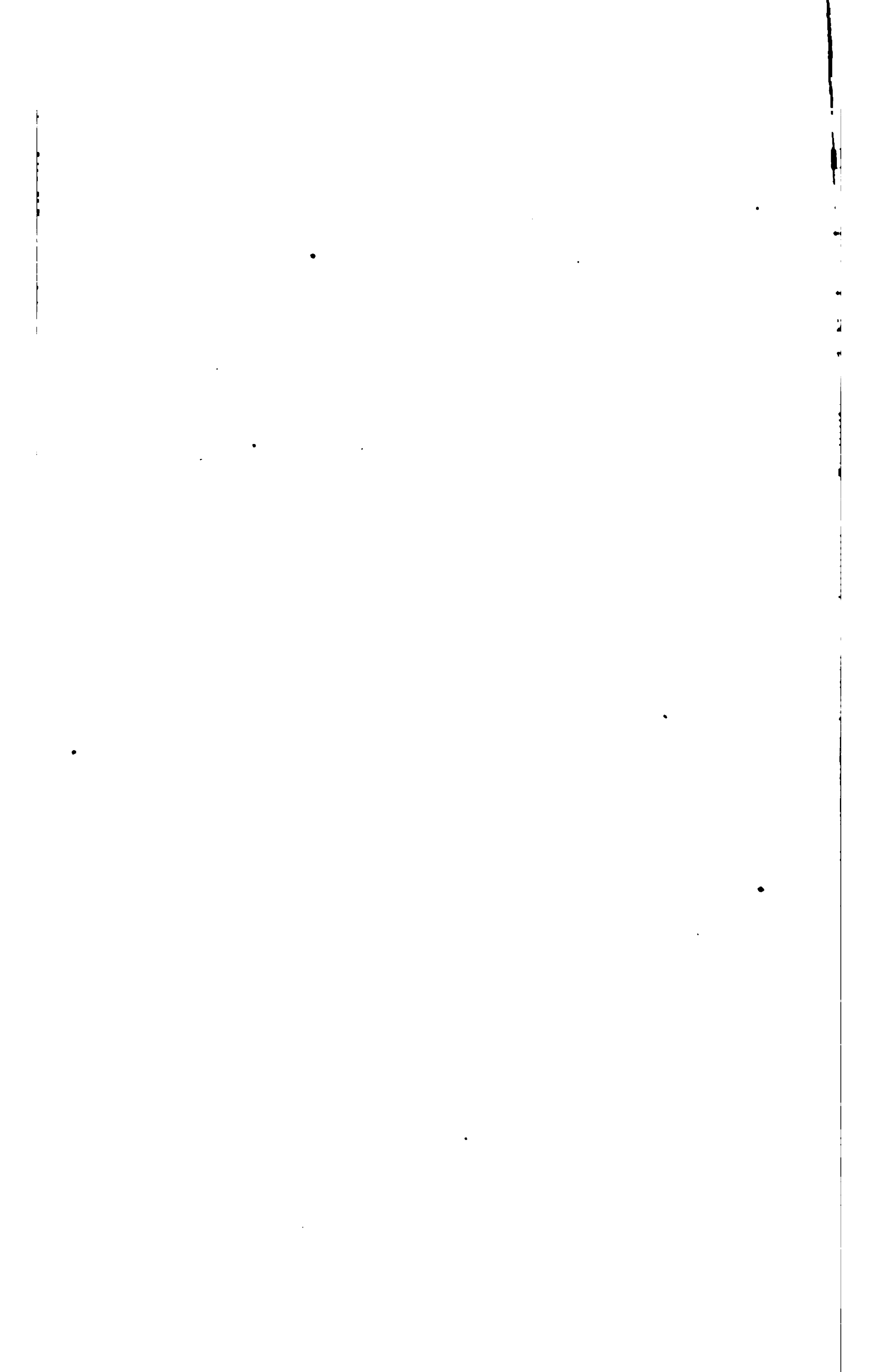
Lith. Anst. v. Jos. Huber vorm. Joh. Moises, München.

deut

Taf. 10.

| November | December | Mai | Juni |
| --- | --- | --- | --- |

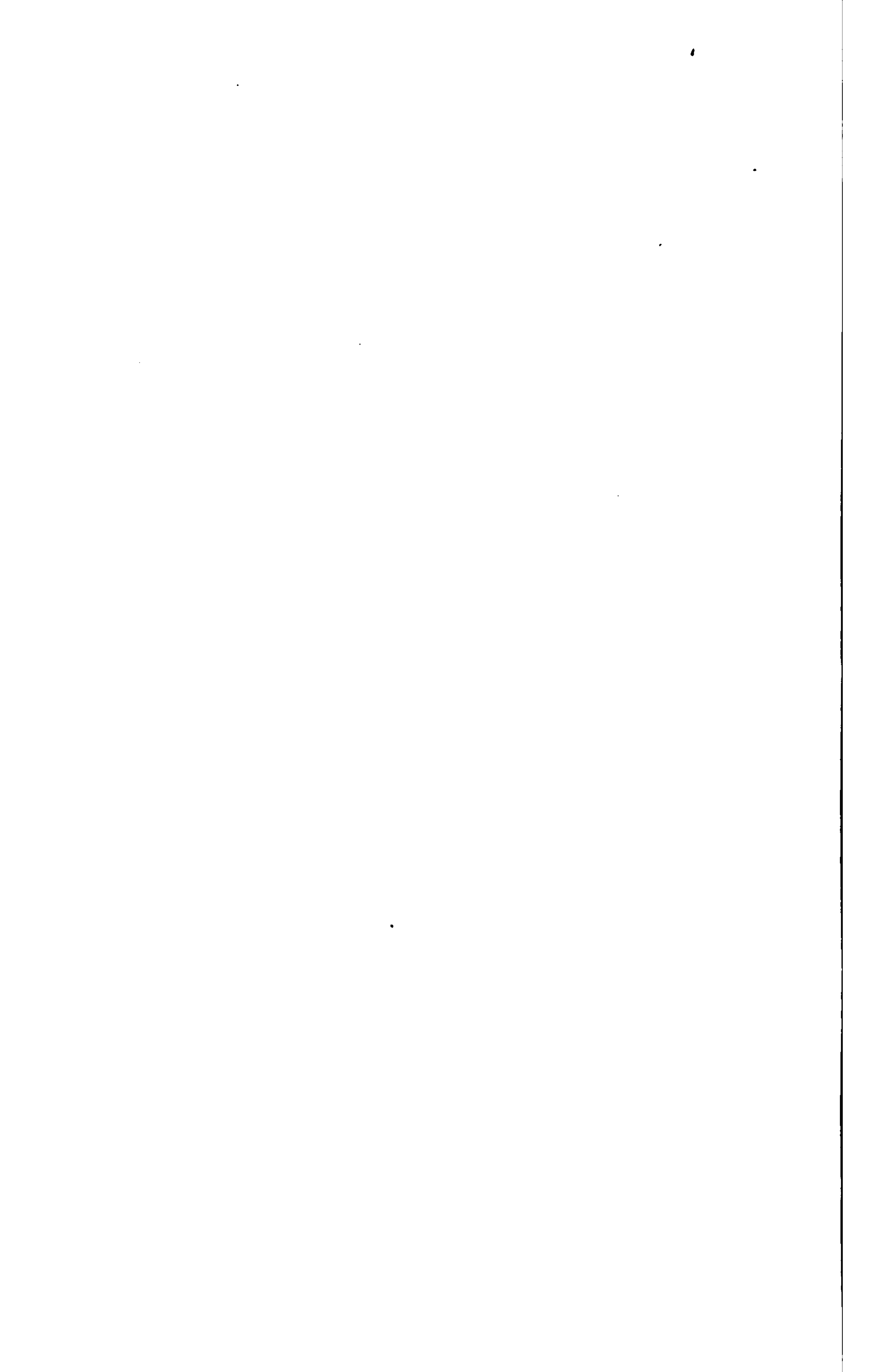
Anst. v. Jos. Huber vorm. Joh. Moises, München.



Taf. 11

| ...gust | September |
|---|---|

Huber vorm. Joh. Moises, München.



E

f

e

g

AH

C

D

B

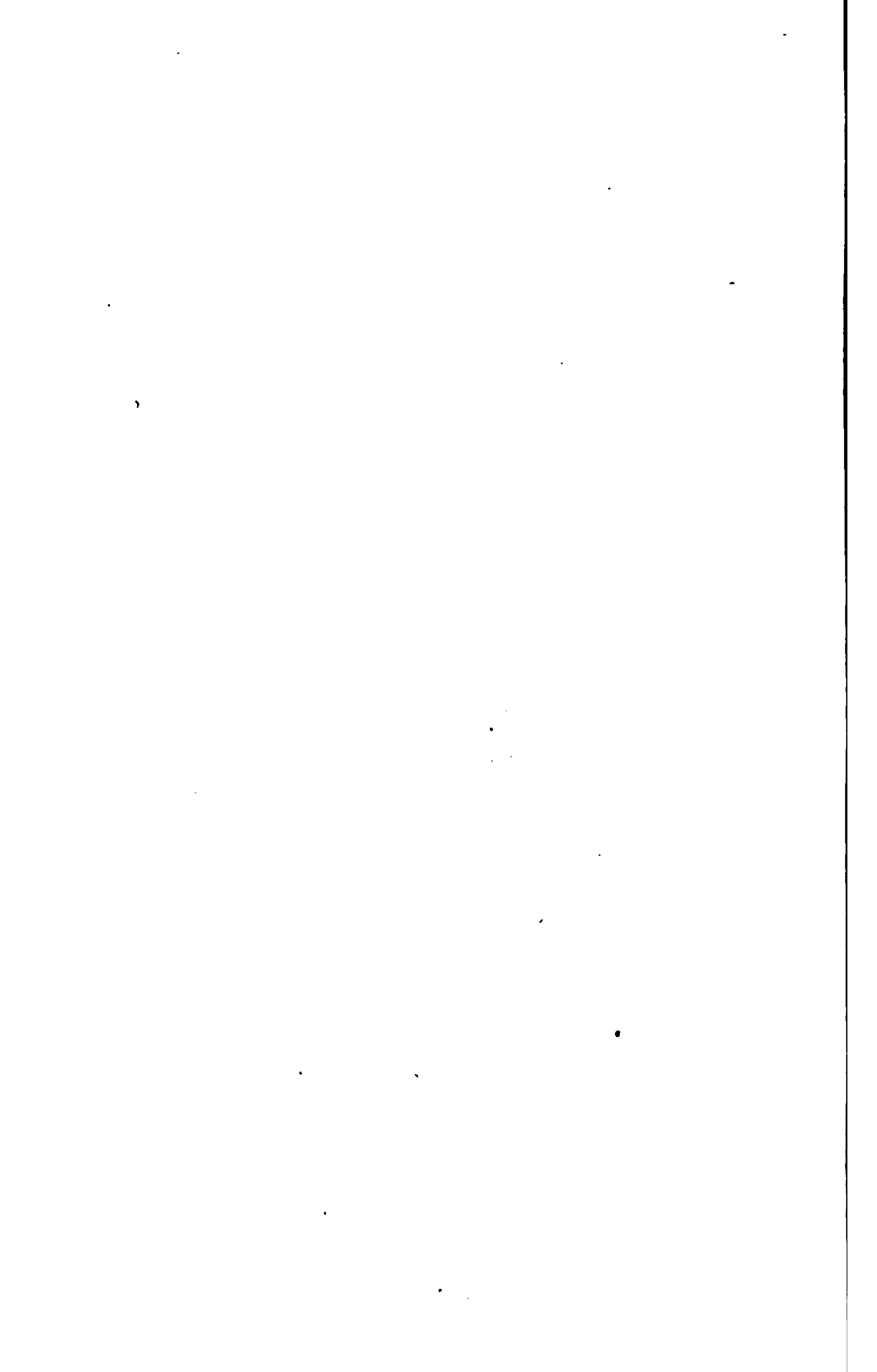
a

i

h

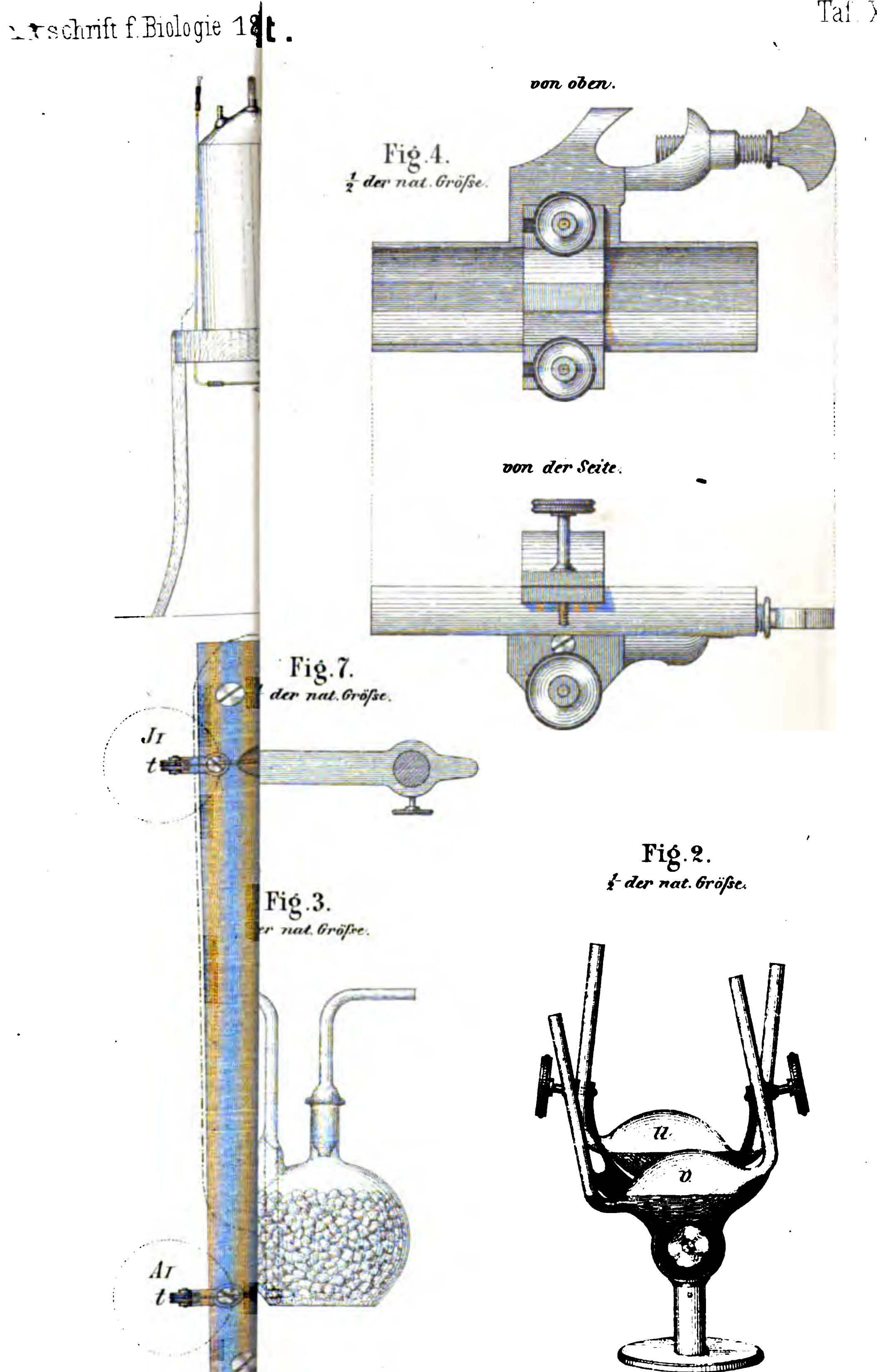
Grav. v. Jos. Menz

Lith. Anst. von Joh. Moises sel. Wtwe in München



Grav. v Jo

Lith. Anst. von Joh. Moises sel. Wtw. in München.


von oben.
Fig. 4.
½ der nat. Größe.
von der Seite.
Fig. 7.
der nat. Größe.
$J_I$
t
Fig. 3.
…r nat. Größe.
$A_I$
t
Fig. 2.
½ der nat. Größe.
u
v





57

